

**ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ  
ТА ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ:  
ЕКОНОМІЧНИЙ, ТЕХНІКО-  
ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ТА  
ЕКОЛОГІЧНИЙ  
АСПЕКТИ**

**Колективна монографія**

**Полтава  
2019**

УДК 330  
Е 65



*Рекомендовано до друку вченою радою Полтавської державної аграрної академії (Україна) (протокол № 17 від 15.05.18 р.).*

*Рекомендовано до друку вченою радою Опольського університету (Польща) (протокол № 01/05/2018 від 28.05.18 р.).*

**Рецензенти:**

С. В. Іванов – член-кореспондент НАН України, заслужений діяч науки і техніки України, доктор економічних наук, професор, завідувач кафедри фінансів і маркетингу ДВНЗ “Придніпровська державна академія будівництва та архітектури”.

В. І. Гавриш – доктор економічних наук, професор, завідувач кафедри тракторів та сільськогосподарських машин, експлуатації і технічного сервісу Миколаївського державного аграрного університету.

О. В. Семко – доктор технічних наук, професор, лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки, академік Академії будівництва України, завідувач кафедри архітектури та міського будівництва Полтавського національного технічного університету імені Юрія Кондратюка.

В. Л. Курило – доктор сільськогосподарських наук, професор, член-кореспондент НААН, професор кафедри сільськогосподарських машин Вінницького аграрного університету.

Даріуш Сушанович – кандидат технічних наук, заступник директора Інститута технічних наук Опольського університету.

**Енергоефективність та енергозбереження: економічний, техніко-технологічний та екологічний аспекти:** колективна монографія / Кол. авторів; за заг. ред. П. М. Макаренка, О. В. Калініченка, В. І. Аранчій. Полтава : ПП “Астрая”, 2019. 603 с.

У монографії викладено теоретико-методологічні засади та методичні й практичні рекомендації енергоефективності і енергозбереження на національному, галузевому, регіональному рівнях і на підприємствах за видами економічної діяльності. Охоплено питання розвитку енергетичної безпеки ринково розвинених країн і України, використання нетрадиційних відновлювальних і альтернативних джерел енергії. Запропоновано організаційно-економічні, технологічні, технічні та екологічні рішення подальшого розвитку енергоефективності й енергозбереження. Сформовано пропозиції щодо економічної та енергетичної оцінки та ефективності використання теплових, механічних, біологічних і природних джерел енергоресурсів, їх енергетичного аудиту і консалтингу в господарській та галузевій структурі національної економіки.

Розрахована на здобувачів вищої освіти, викладачів, науковців, фахівців з енергоефективності і енергозбереження різних форм і напрямів економічної діяльності.

**ISBN 978-617-7669-24-0**

**Energy efficiency and energy saving: economic, technical, technological and ecological aspects** : collective monograph / Authors edited: P. M. Makarenko, O. V. Kalinichenko, V. I. Aranchii. – Poltava : PC “Astraya”, 2019. – 603 p.

The collective monograph outlines theoretical and methodological researches, and practical aspects of implementing the energy efficiency and energy saving technologies at national and regional levels and certain enterprises and branches of economic activity. The peculiarities of the global energy supply development and the prospects of renewable energy sources' implementation are revealed, the methodological and practical concepts of efficient energy consumption are proposed. The theoretical concepts and propositions provided, allow conducting a complex estimation of various technologies and technological processes in different branches of the national economy of Ukraine. The ways of optimizing the energy consumption, and its influence on the development of national economy, the ecological state of the territories, and forming the technical and technological levels of management are investigated.

The materials of this collective monograph may be useful to scholars, applicants of higher education, teachers of higher educational establishments, as well as public authorities, specialists and managers of business entities.

**ISBN 978-617-7669-24-0**

© ПДАА  
© Колектив авторів, 2019

## ЗМІСТ

<b>УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ .....</b>	<b>7</b>
<b>ПЕРЕДМОВА .....</b>	<b>9</b>
<b>РОЗДІЛ 1. ЕНЕРГЕТИЧНА БЕЗПЕКА: ДОСВІД РИНКОВО-РОЗВИНЕНИХ КРАЇН, СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ УКРАЇНИ</b>	
<hr/>	
1.1. Енергетична безпека ринково-розвинених країн: державна політика та інструменти регулювання енергоефективності .....	11
1.2. Енергетична безпека країни: світовий досвід та вітчизняні реалії.....	15
1.3. Перспективи та проблеми гармонізації енергетичного законодавства України зі стандартами Європейського Союзу .....	18
1.4. Енергетична безпека України в умовах євроінтеграції: проблеми та перспективи.....	24
1.5. Енергетична концепція Сергія Подолинського у контексті розвитку низьковуглецевої економіки....	30
1.6. Оцінка сучасного стану енергетичної безпеки у світі .....	36
1.7. Оцінка сучасного стану паливно-енергетичного комплексу та енергетичної безпеки України ....	40
1.8. Оцінки кластерних ініціатив в контексті забезпечення енергетичної безпеки соціально-економічних систем.....	45
1.9. Ретроспективний аналіз підходів до енергетичного планування на місцевому рівні .....	51
1.10. Передумови енергетичної бідності в контексті трансформації взаємовідносин на енергетичному ринку.....	59
1.11. Соціо-енерго-еколого-економічна система промислового регіону: аспекти енергетичної безпеки ..	62
1.12. Енергозберігаюча стратегія завдяки економному використанню енергоресурсів при проведенні досліджень продуктивних свердловин .....	69
1.13. Перспективні напрямки реалізації енергетичної безпеки України.....	72
1.14. Напрями забезпечення енергетичної безпеки України .....	80
<b>РОЗДІЛ 2. ВИКОРИСТАННЯ НЕТРАДИЦІЙНИХ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ ТА АЛЬТЕРНАТИВНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ</b>	
<hr/>	
2.1. “Зелена” енергетика як провідна ланка “зеленої” економіки: досвід Європейського Союзу .....	85
2.2. Потенціал відновлюваних джерел енергії в Україні.....	92
2.3. Відновлювальні джерела енергії та їх вплив на збалансований сталий розвиток господарського комплексу регіонів України.....	97
2.4. Економічна оцінка використання відновлюваних джерел енергії .....	104
2.5. Відновлювальні джерела енергії: тенденції розвитку, інвестиції, smartgrid .....	107
2.6. Використання відновлюваних джерел енергії в Україні .....	113
2.7. Аналіз потенціалу відновлюваних джерел енергії на територіях непридатних для сільськогосподарського виробництва.....	116
2.8. Використання біомаси в енергетичних цілях (досвід Польщі).....	120

2.9. Стале виробництво твердого біопалива в Україні. Галузеві рішення.....	124
2.10. Перспективні напрями використання відновлюваної енергетики у сільському господарстві України	130
2.11. Створення енергоефективних технологій очищення стічних вод з одночасним одержанням енергоносіїв в біопаливних елементах .....	136
2.12. Біогаз: основні властивості, стан та перспектива виробництва біогазу.....	143
2.13. Обґрунтування проекту створення біоенергетичного селища на території України .....	150
2.14. Шляхи енергозбереження при забезпеченні мікроклімату учбових приміщень .....	155

### **РОЗДІЛ 3. ОЦІНКА, ЕНЕРГЕТИЧНИЙ АУДИТ ТА ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНІ АСПЕКТИ РОЗВИТКУ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ І ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ**

3.1. Класифікація видів енергії в процесі виробництва продукції рослинництва .....	167
3.2. Особливості енергоспоживання в рослинництві .....	171
3.3. Методика оцінки енергетичної ефективності виробництва продукції рослинництва .....	177
3.4. Методичні підходи до еколого-економічної оцінки збитків від деградації земель з врахуванням основних факторів енергоємності їх родючості .....	180
3.5. Впровадження енергоощадних технологій вирощування сільськогосподарських культур .....	188
3.6. Енергозабезпечення і енергоефективність галузі тваринництва та кормовиробництва .....	193
3.7. Оцінка енергетичної ефективності робочих машин поточкових ліній очищення зерна .....	201
3.8. Енергетична оцінка матеріальних активів .....	206
3.9. Оптимізація енергопостачання технічної енергетичної системи з використанням рангового аналізу .....	211
3.10. Розширення ралівної бази дизелів шляхом застосування газодизельного циклу.....	216
3.11. Перспективи розвитку об'єднання співвласників багатоквартирного будинку для забезпечення енергоефективного використання енергоресурсів домогосподарствами .....	222
3.12. Особливості забезпечення надійності електропостачання споживачів у ринкових умовах на регіональних електроенергетичних ринках .....	229
3.13. Консалтинг енергоефективності.....	234
3.14. Теоретичні засади аналізу енергетичної та екологічної ефективності металургійних підприємств в Україні.....	238
3.15. Оцінка конкурентних позицій підприємств, діючих на оптовому енергоринку України .....	242
3.16. Інвестиційні та виробничі аспекти енергетичного контролінгу .....	248
3.17. Перспективи застосування енергетичного аудиту в аграрних підприємствах .....	252
3.18. Ефективність провадження енергоефективних заходів в аспекті техніко-економічного оцінювання .	258
3.19. Використання енергозберігаючих технологій як механізм підвищення рівня економічної безпеки в сільськогосподарських підприємствах .....	262
3.20. Структуризація методів фінансування проектів у сфері енергозбереження: український вимір...	265
3.21. Формування системи оцінювання стимулювання персоналу в контексті дослідження поведінки агентів з питань з енергозбереження .....	271
3.22. Інституційні та економічні аспекти основних напрямів досліджень в області енергоефективності.	276
3.23. Енергоефективність та енергозбереження в Україні: регіональні аспекти .....	280
3.24. Промислова політика енергозбереження та енергоефективності на засадах сталого розвитку та економічного націоналізму.....	283
3.25. Використання засобів маркетингу у стимулюванні енергозбереження та енергоефективності...	287

3.26. Енергозбереження як основний індикатор управління інвестиційною привабливістю підприємств машинобудування.....	294
3.27. Підвищення енергоефективності економіки України за рахунок зниження енерговитрат в житлово-комунальному господарстві.....	298
3.28. Управління відтворенням біоенергетичних ресурсів у сільському господарстві .....	301

#### **РОЗДІЛ 4. ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ОЦІНКА БІОЕНЕРГЕТИЧНОГО ПОТЕНЦІАЛУ В ГАЛУЗЯХ І ГОСПОДАРСЬКІЙ СТРУКТУРІ НАЦІОНАЛЬНОЇ ЕКОНОМІКИ**

4.1. Енергозберігаючі аспекти органічного землеробства .....	304
4.2. Енергозберігаючі технології виробництва цукру .....	308
4.3. Енергозберігаючі технології та технічні рішення при виробництві капсульовано-гранульованих мінеральних добрив.....	316
4.4. Енергозберігаюча технологія виробництва добрива-меліоранта зі шламових відходів підприємств теплоенергетики .....	322
4.5. Енергозберігаюча система обробітку ґрунту на базі електрифікованого мотоблоку .....	327
4.6. Ефективність використання індукційного нагріву в області металообробки.....	335
4.7. Інтенсифікація теплообмінних процесів акустичним методом .....	342
4.8. Удосконалення енергоощадних технологій виготовлення алюмінієвих сплавів.....	347
4.9. Оцінка біоенергетичного потенціалу регіонів України (на прикладі Полтавської області) .....	352
4.10. Використання побічної продукції, відходів і залишків сільського господарства для виробництва твердих біопалив .....	358
4.11. Вирощування енергетичних культур для виробництва твердих біопалив та теплової енергії. Енергетичний, екологічний та економічний аспекти.....	368
4.12. Динаміка зміни органічного вуглецю ґрунту при вирощуванні енергетичних культур: наслідки для залишків парникових газів та родючості ґрунту .....	376
4.13. Економічна і енергетична ефективність технологічних заходів при вирощуванні кукурудзи та сорго цукрового для виробництва біогазу .....	380
4.14. Вплив умов вирощування та біометричних показників рослин проса прутоподібного на урожайність і вихід біопалива .....	385
4.15. Сортова специфіка сої та потенціал їх рослинних решток.....	395
4.16. Організація формування й перспективи використання біоенергетичного потенціалу підприємств агробізнесу .....	398

#### **РОЗДІЛ 5. ТЕХНІЧНІ РІШЕННЯ В ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННІ ТА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ**

5.1. Перетворення вітрової енергії безпосередньо в теплоту.....	401
5.2. Теплонасосна технологія .....	407
5.3. Когенераційна технологія перетворення енергії вітру .....	411
5.4. Технології використання сонячної енергії для ПДГ .....	418
5.5. Енергетичні витрати та обґрунтування параметрів жолоба робочих русел комбінованого очисника вороху цукрових буряків.....	426
5.6. Традиційні тверді біопалива.....	436
5.7. Альтернативні біопаливні матеріали: опале листя та композити на основі твердих рослинних відходів .....	437

5.8. Експериментальні дослідження виготовлення пелет з опалого листя у відкриту матрицю.....	438
5.9. Експериментальне дослідження виготовлення біопалива з опалого листя, рослинних відходів та композитів на їх основі в закритій матриці .....	441
5.10. Удосконалена технологія виготовлення матриць пелетоутворюючих пресових пристроїв .....	447
5.11. Приклад визначення витрати композитного біопалива у газогенераторі автономної енергетичної установки .....	451

## **РОЗДІЛ 6. ЕКОЛОГІЧНІ ВИМОГИ ТА ЇХ ВИРІШЕННЯ В ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННІ ТА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ**

6.1. Екологічні витрати та енергозбереження: облікові аспекти .....	454
6.2. Роль біомаси для досягнення глобальних та національних цілей зі зниження викидів парникових газів .....	457
6.3. Забезпечення екологічних вимог при виробництві енергії з біомаси .....	463
6.4. Енергетичні властивості біомаси та економічна ефективність виробництва теплової енергії ...	469
6.5. Аналіз впливу впровадження міжнародних екологічних обмежень на енергоефективність у розрізі галузевої структури національної економіки .....	475
6.6. Екологічні аспекти спалювання низькокалорійних органічних палив .....	483
6.7. Екологічні аспекти сільськогосподарського виробництва .....	489
6.8. Екологічні аспекти використання біогазового потенціалу твердих побутових відходів.....	494
6.9. Використання концентрованих відходів тваринницьких ферм для отримання біогазу .....	499
6.10. Підвищення енергетичної ефективності шляхом ресурсозбереження.....	505
6.11. Енергоефективність та екологізація логістичної діяльності .....	510
6.12. Інноваційні технології ресурсозбереження в технологіях очищення забрудненого водного середовища .....	516
6.13. Високоєфективні системи енергозабезпечення з когенераційно-теплонасосними установками: енергетичний, економічний та екологічний аспекти ефективності.....	524
6.14. Еколого-економічні системи опалення.....	531
6.15. Математична модель аналізу матеріальних потоків міського середовища .....	536
6.16. Відходи вуглевидобутку та вуглезбагачення стан та технології використання .....	544
<b>ПІСЛЯМОВА .....</b>	<b>551</b>
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....</b>	<b>553</b>

**УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ**

**АПК** – агропромисловий комплекс  
**АЕС** – атомна електростанція  
**БГУ** – біогазова установка  
**ВВП** – валовий внутрішній продукт  
**ВДЕ** – відновлювальні джерела енергії  
**ВЕС** – вітроелектростанція  
**ВЕУ** – вітроенергетичних установок  
**ВЯП** – відпрацьоване ядерне паливо  
**ВЕР** – вторинні енергетичні ресурси  
**ГТС** – газотранспортна система  
**ГЕ** – геотермальна енергетика  
**ГАЕС** – гідроакumuлююча електростанція  
**ГЕС** – гідроелектростанція  
**ГМК** – гірничо-металургійний комплекс  
**ГТО** – ґрунтовий теплообмінник  
**ДВЗ** – двигуни внутрішнього згорання  
**ДП** – дизельне паливо  
**ЕЕС** – електроенергетична система  
**ЕС** – електростанція  
**ЕнБ** – енергетична безпека  
**ЄС** – Європейський Союз  
**ЖЕО** – житлово-експлуатаційна організація  
**ККД** – коефіцієнт корисної дії  
**МГЕС** – мала гідроелектростанція  
**МЕА** – Міжнародне енергетичне агентство  
**НВДЕ** – нетрадиційні та відновлювані джерел енергії  
**ОЕС** – об'єднана енергетична система  
**ОСББ** – об'єднання співвласників багатоквартирного будинку  
**ОРЕ** – оптовий ринок електроенергії  
**ОЕСР** – організація економічного співробітництва і розвитку  
**ПЕР** – паливно-енергетичні ресурси  
**ПЕБ** – паливно-енергетичний баланс  
**ПЕС** – припливна електростанція  
**РЕЕС** – регіональна електроенергетична система  
**РРВ** – рідкі радіоактивні відходи  
**СЕ** – система енергозабезпечення  
**СЕЕЕС** – соціо-енерго-еколого-економічна система  
**ЕСР** – Східноєвропейське партнерство з питань енергоефективності та екології  
**ТПВ** – тверді побутові відходи  
**ТБП** – тверде біопаливо  
**ТЕС** – тепла електростанція  
**ТЕС** – технічна енергетична система  
**ТЕЦ** – тепла електроцентраль  
**ВЯП** – відпрацьоване ядерне паливо

### УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ У ТАБЛИЦЯХ

Тире (–)	– явищ не було
Крапки (...)	– відомості відсутні
Нуль (0; 0,0)	– явища відбулися, але у вимірах, менших за ті, що можуть бути виражені використаними у таблиці розрядами
Символ (x)	– заповнення рубрики за характером побудови таблиці не має сенсу
“у тому числі”, “з них”	– означає, що наведено не всі доданки загальної суми

### СКОРОЧЕННЯ

г – грам	млн – мільйон
га – гектар	од. – одиниць
грн – гривня	т – тонна
Дж – джоуль	тис. – тисяча
дол. США – долар США	т.н.е. – тонни нафтового еквівалента
кВт-год. – кіловат-година	у.п. – умовне паливо
кг – кілограм	ц – центнер (100 кг)
корм. од. – кормова одиниця	шт. – штук

### СПІВВІДНОШЕННЯ РІЗНИХ ОДИНИЦЬ ЕНЕРГІЇ

Одиниця фізичної величини		J (Дж)	cal (кал)	kW-h (кВт-год.)	Btu	erg erg	eV (eB)
Позначення	Назва						
J	Джоуль	1	0,24	$2,78 \cdot 10^{-7}$	$9,5 \cdot 10^{-4}$	$10^7$	$6,2 \cdot 10^{18}$
cal	Калорія	4,19	1	$1,16 \cdot 10^{-6}$	$4 \cdot 10^3$	$4,19 \cdot 10^7$	$2,6 \cdot 10^{19}$
kW-h	Кіловат-година	$3,6 \cdot 10^6$	$8,6 \cdot 10^5$	1	$3,4 \cdot 10^3$	$3,6 \cdot 10^{13}$	$2,3 \cdot 10^{25}$
Btu	Британська одиниця теплоти	$1,06 \cdot 10^3$	252	$2,93 \cdot 10^{-4}$	1	$1,06 \cdot 10^{10}$	$6,57 \cdot 10^{21}$
Erg	Ерг	$10^{-7}$	$2,4 \cdot 10^{-8}$	$2,78 \cdot 10^{-14}$	$9,5 \cdot 10^{-11}$	1	$6,2 \cdot 10^{11}$
eV	Електрон-вольт	$1,6 \cdot 10^{-19}$	$3,8 \cdot 10^{-20}$	$5,75 \cdot 10^{-27}$	$10^{-23}$	$1,6 \cdot 10^{-12}$	1

### СПІВВІДНОШЕННЯ РІЗНИХ ОДИНИЦЬ ПОТУЖНОСТІ

Одиниця фізичної величини		W (Вт)	hf (к.с.)	cal/s (кал/с)	erg/s (ерг/с)	eV/s (eB/с)
Позначення	Назва					
W	Ват	1	$1,36 \cdot 10^{-3}$	0,24	$10^7$	$6,2 \cdot 10^{18}$
hf	Кінська сила	736	1	175	$7,36 \cdot 10^9$	$8,4 \cdot 10^{21}$
cal/s	Калорія за секунду	4,19	$5,69 \cdot 10^{-3}$	1	$4,19 \cdot 10^7$	$2,6 \cdot 10^{19}$
erg/s	Ерг за секунду	$10^{-7}$	$1,36 \cdot 10^{-10}$	$2,4 \cdot 10^{-8}$	1	$0,6 \cdot 10^{12}$
eV/s	Електрон-вольт за секунду	$1,6 \cdot 10^{-19}$	$1,18 \cdot 10^{-22}$	$3,8 \cdot 10^{-20}$	$1,6 \cdot 10^{-12}$	1



## ПЕРЕДМОВА

Практично всі глобальні виклики, що наразі постали перед людством (економічні, екологічні, суспільно-політичні загострення), в якості першооснови містять енергетичну складову. Конкуренція за право контролю вичерпних світових запасів органічного палива, відмінності в розвитку технологій стосовно різних держав поряд зі збільшення енергетичних потужностей та обсягів споживання енергетичних ресурсів детермінують зростання соціально-економічної нестабільності не лише у нафтовидобувних регіонах, а й у розвинених країнах світу. Незначні, на перший погляд, коливання параметрів світової енергетичної системи є причиною перманентної соціально-економічної кризи різного ступеня локалізації.

Зростаючий дефіцит енергетичних ресурсів в світі вимагає новітніх підходів до вирішення економічних, екологічних, технічних і технологічних завдань, при яких враховується енергетичні витрати в кожній галузі національної економіки, на всіх етапах виробництва та реалізації товарів та послуг.

Упродовж тривалого часу екстенсивний тип господарювання національної економіки України спричинює недостатнє використання потенціалу галузей, що зумовлено високим рівнем ресурсо- та енерговитрат.

За новітніх, умов перерозподілу енергетичних ресурсів у світі, які часто є непередбачуваними, а також наслідки глобалізації світового ринку питання енергозабезпечення та енергоспоживання підприємств різних сфер потребують додаткового вивчення з метою розроблення практичних пропозицій щодо раціонального використання енергетичних ресурсів, і подальшого підвищення конкурентоспроможності підприємств.

Мета даної колективної монографії полягає у визначенні особливостей енергоспоживання в галузях національної економіки України, що впливають на використання засобів і предметів праці, та енергетичну ефективність виробництва продукції.

Колективна монографія присвячена дослідженню концептуальних засад ефективності використання виробничих ресурсів, виражених в енергетичному еквіваленті.

Основу дослідження становить розкриття сутності та закономірностей трансформації енергії у процесі її використання. Обґрунтованні класифікації видів енергії у процесі виробництва продукції. Визначені основні чинники, що впливають на рівень та ефективність енергоспоживання при виробництві продукції, розробці методичних підходів до оцінки рівня економічної, технічної та енергетичної ефективності виробництва продукції.

Гострота запитань, що є предметом досліджень у зазначеній колективній монографії, спостерігається у повсякденному житті практично щоденно. Взаємовідносини між окремими суб'єктами та різними формаціями стосовно контролю за енергетичними ресурсами, їх подальшим використанням, є потужним економічним чинником на мікро- та макrorівнях. Парадокс вказаних взаємовідносин становить дихотомія негативного впливу на окрему національну економіку як нестачі, так і надлишку енергетичних ресурсів. У першому випадку науковці змушені опрацьовувати шляхи диверсифікації енергопостачання та будувати механізм енергоощадної економіки, у другому – розробляти важелі протидії проявам “ресурсного прокляття”.

Нагальна необхідність здійснення практично значущих рецептів вирішення енергетичних проблем опосередковано підтверджується суттєвою чисельністю публікацій у наукових виданнях та засобах масової інформації. Наявний попит упродовж останніх десятиліть сформував окремі галузі аудиту, бізнес-консалтингу та інжинірингу.

Проте парадигма взаємовідносин “природа – людина – суспільство”, що, де-факто, залишається незмінною упродовж кількох століть, не витримує сучасного техніко-технологічного навантаження. Наявні здобутки науково-технічного прогресу виявляються не лише недостатніми, а й, інколи, – загрозливими для існування живого на планеті. І причиною цього є саме практично випробована можливість концентрованого вивільнення енергії.

У колективній монографії розкрито особливості розвитку світового енергозабезпечення, перспективи впровадження відновлюваних джерел енергії, запропоновано методологічні та практичні питання ощадливого енергоспоживання на національному, регіональному рівнях та в окремих підприємствах і галузях господарської діяльності. Зроблено спробу узагальнити сучасне розуміння енергоефективності та енергозбереження, наведені теоретичні положення і пропозиції, що дозволяють здійснювати комплексну оцінку різних технологічних процесів та технологій у галузях національної економіки України.

Окреслено основні напрями щодо оптимізації енерговикористання та його вплив на розвиток національної економіки, екологічний стан територій та формування техніко-технологічного рівня господарювання.

Запропоновано організаційно-економічні, технологічні, технічні, екологічні заходи, спрямовані на зменшення енергомісткості виробництва продукції. Визначено резерви збільшення обсягів виробництва продукції за рахунок використання енергозберігаючих технологій.

Структура монографії складається з 6 розділів, у написанні яких брали участь: **Макаренко П. М., Тимошенко І. В.** (підрозділ 1.1); **Шевченко О. М.** (підрозділ 1.2); **Кобець С. П., Щербініна С. А.** (підрозділ 1.3); **Завербний А. С.** (підрозділ 1.4); **Іванов С. В., Перебийніс В. І., Гавриш В. І., Перебийніс Ю. В.** (підрозділ 1.5); **Лесюк А. С.** (підрозділи 1.6, 1.7); **Миколюк О. А.** (підрозділ 1.8); **Горбань В. Б.** (підрозділ 1.9); **Завгородня С. П.** (підрозділ 1.10); **Дубницький В. І., Дробот С. А.** (підрозділ 1.11); **Акульшин О. О., Рой М. М.** (підрозділ 1.12); **Фесенко І. А., Фесенко М. С.** (підрозділ 1.13); **Лесюк В. С.** (підрозділ 1.14); **Мельник Л. Г., Карінцева О. І., Дегтярьова І. Б.** (підрозділ 2.1); **Пілявський В. І., Волкова Н. В., Могилат М. Г.** (підрозділ 2.2); **Бутко М. П., Акименко О. Ю., Петровська А. С.** (підрозділ 2.3); **Башинська Ю. І.** (підрозділ 2.4); **Рекова Н. Ю., Клопов І. О.** (підрозділ 2.5); **Шуба М. В., Шуба О. А.** (підрозділ 2.6); **Кузнєцов М. П., Лисенко О. В.** (підрозділ 2.7); **Калініченко О., Бялобжецьки С., Жук О.** (підрозділ 2.8); **Корінчук Д. М., Бунецький В. А.** (підрозділ 2.9); **Трипольська Г. С.** (підрозділ 2.10); **Кузьмінський Є. В., Саблій Л. А., Щурська К. О.** (підрозділ 2.11); **Гавриш В. І., Ніценко В. С., Ільїн В. Ю.** (підрозділ 2.12); **Бавико О. Є., Єрмак С. О., Бугасенко О. В.** (підрозділ 2.13); **Гайдукевич С. В., Семенова Н. П., Соловей І. М.** (підрозділ 2.14); **Калініченко О. В.** (підрозділи 3.1, 3.2, 3.3); **Кузнєцова Т. В., Подлевська О. М., Стахів Я. А.** (підрозділ 3.4); **Стахів О. А.** (підрозділ 3.5); **Яковчик М. С.** (підрозділ 3.6); **Постнікова М. В.** (підрозділ 3.7); **Дивнич А. В., Дивнич О. Д.** (підрозділ 3.8); **Денисюк С. П., Василенко В. І.** (підрозділ 3.9); **Барабаш П. О., Петренко В. Г., Соломаха А. С., Голик А. В.** (підрозділ 3.10); **Костяна О. В.** (підрозділ 3.11); **Люльчак З. С.** (підрозділ 3.12); **Примостка О. О.** (підрозділ 3.13); **Федько Я. В.** (підрозділ 3.14); **Бавико О. Є., Єрмак С. О., Рябий М. М.** (підрозділ 3.15); **Дегтярьова О. О.** (підрозділ 3.16); **Аранчій В. І., Федірець О. В.** (підрозділ 3.17); **Сердюк В. Р., Франишина С. Ю.** (підрозділ 3.18); **Максимиук М. М.** (підрозділ 3.19); **Петренко І. П., Никитенко У. А.** (підрозділ 3.20); **Гільорме Т. В.** (підрозділ 3.21); **Однорог М. А.** (підрозділ 3.22); **Помаз Ю. В., Помаз О. М., Єрмаков В. В.** (підрозділ 3.23); **Денисов К. В.** (підрозділ 3.24); **Алдохіна Н. І., Комаріст О. І.** (підрозділ 3.25); **Чернецька О. В.** (підрозділ 3.26); **Ющенко Н. Л.** (підрозділ 3.27); **Мармуль Л. О.** (підрозділ 3.28); **Писаренко В. М., Писаренко П. П.** (підрозділ 4.1); **Мельник С. І., Никульшин В. Р., Белоусов А. В.** (підрозділ 4.2); **Бунько В. Я., Мальований М. С., Нагурський О. А.** (підрозділ 4.3); **Пасенко А. В.** (підрозділ 4.4); **Ковальов О. В.** (підрозділ 4.5); **Вегера І. І., Скавиш І. А., Цикунов П. Ю.** (підрозділ 4.6); **Ільїн С. В.** (підрозділ 4.7); **Скуйбіда О. Л.** (підрозділ 4.8); **Писаренко П. В., Самойлік М. С.** (підрозділ 4.9); **Драгнев С. В., Железна Т. А., Баштовий А. І.** (підрозділ 4.10); **Трибой О. В., Железна Т. А., Крамар В. Г.** (підрозділ 4.11); **Галицька М. А.** (підрозділ 4.12); **Грабовський М. Б.** (підрозділ 4.13); **Кулик М. І.** (підрозділ 4.14); **Білявська Л. Г., Білявський Ю. В.** (підрозділ 4.15); **Ігнатенко М. М.** (підрозділ 4.16); **Жарков В. Я., Жарков А. В., Галько С. В.** (підрозділи 5.1, 5.2, 5.3, 5.4); **Рамш В. Ю.** (підрозділ 5.5); **Клименко В. В., Кравченко В. І., Боков В. М., Сіса О. Ф.** (підрозділи 5.6, 5.7, 5.8, 5.9, 5.10, 5.11); **Костенко Ю. О.** (підрозділ 6.1); **Гелетуха Г. Г., Олійник Є. М., Зубенко В. І.** (підрозділ 6.2); **Гелетуха Г. Г., Антоненко В. О., Радченко С. В.** (підрозділ 6.3); **Гелетуха Г. Г., Олійник Є. М., Зубенко В. І.** (підрозділ 6.4); **Кудін В. І., Онищенко А. М.** (підрозділ 6.5); **Плашихін С. В., Бикоріз Є. Й., Корінчук К. О.** (підрозділ 6.6); **Кірейцева О. В., Сокол Л. М.** (підрозділ 6.7); **Приходько В. Ю., Сафранов Т. А., Шаніна Т. П.** (підрозділ 6.8); **Бублієнко Н. О., Семенова О. І., Сулейко Т. Л.** (підрозділ 6.9); **Кадол О. М., Кадол Л. В., Кравчук Л. М.** (підрозділ 6.10); **Савченко Л. В.** (підрозділ 6.11); **Петрушка І. М., Крет І. З., Петрушка К. І.** (підрозділ 6.12); **Остапенко О. П.** (підрозділ 6.13); **Андрющенко А. М., Нікульшин В. Р., Денисова А. Є.** (підрозділ 6.14); **Патракеєв І. М.** (підрозділ 6.15); **Кочешкова І. М., Трушкіна Н. В.** (підрозділ 6.16).

Колективна монографія є частиною НДДКР “Розробка оптимальних енергетичних систем з урахуванням наявного потенціалу відновлюваних джерел енергії в умовах Лісостепу України” Полтавської державної аграрної академії (номер державної реєстрації 0117U000397 від 10.02.2017 р.).

При підготовці монографії використані статистичні дані, аналітичні матеріали, а також розробки авторів.

## Розділ 1

# ЕНЕРГЕТИЧНА БЕЗПЕКА: ДОСВІД РИНКОВО- РОЗВИНЕНИХ КРАЇН, СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ УКРАЇНИ

### 1.1. Енергетична безпека ринково-розвинених країн: державна політика та інструменти регулювання енергоефективності

© Макаренко П. М.

*член-кор. НААН України, д.е.н., професор, завідувач кафедри економіки підприємства  
Полтавської державної аграрної академії, м. Полтава, Україна*

© Тимошенко І. В.

*к.е.н., доцент кафедри економіки підприємства,  
Полтавська державна аграрна академія, м. Полтава, Україна*

Стабільне забезпечення економіки країни енергоносіями служить гарантією її стійкого економічного розвитку та національної безпеки. Водночас енергетика є потужним фактором геополітичної взаємодії з іншими державами і в сучасних умовах стає домінуючим чинником міжнародних відносин. Вичерпність невідновлюваних енергетичних ресурсів та зростання цін на енергоносії актуалізують проблему енергозабезпечення, вирішити яку провідні країни світу намагаються шляхом оптимізації енерговитрат, підвищенням енергоефективності й впровадженням нових джерел енергії.

Україна належить до енергодефіцитних країн по забезпеченню основними видами первинної енергії, що обумовлює необхідність значних обсягів їх імпорту. Рівень імпортової залежності країни (понад 51 %) посилюється неефективним використанням енергоносіїв, внаслідок чого щорічний обсяг втрат становить 15 – 17 млрд дол США. За оцінками Міжнародного енергетичного агентства (МЕА), Україна входить у топ-30 країн найбільшого енергоспоживання й топ-20 найменш енергоефективних країн світу [2, с. 82]. Значна енергоємність ВВП країни та недостатній рівень диверсифікації джерел енергопостачання вимагають цілеспрямованої державної політики, де адекватно поєднувалися б можливості України щодо власного видобутку енергоресурсів, модернізація енергетичних систем та впровадження альтернативних видів енергетики. Інтеграція України у світову економіку зобов'язує її дотримуватися міжнародних економічних принципів, одним з яких є зростання енергоефективності.

Напрями розвитку та адаптації національної енергетичної сфери до сучасних геополітичних викликів визначені новою Енергетичною Стратегією України на період до 2035 р., яка передбачає реалізацію основних завдань у три етапи. Перший (до 2020 р.) – реформування енергетичного сектору відповідно до законодавства Євросоюзу. Другий етап (до 2025 р.) – здійснення оптимізації та інноваційного розвитку енергетичної інфраструктури, що дозволить інтеграцію енергетичної системи України з енергосистемою ЄС. Третій етап (до 2035 р.) – забезпечення сталого розвитку енергетики і будівництво нової генерації [1]. Звідси виникає нагальна потреба адаптації вітчизняних стандартів з енергозбереження і енергоефективності до європейських стандартів. У контексті зазначеного доцільно звернутися до прикладів державної політики в енергетичній сфері провідних країн Європи, а також США і Японії, які, згідно звіту Американської Ради з енергозберігаючої економіки “2018 International Energy Efficiency Scorecard”, увійшли до рейтингу найбільш енергоефективних країн світу [8].

Необхідність державного регулювання енергетичного сектору розвинені країни відчули під впливом світових енергетичних криз 1973 і 1979 рр. Зіткнувшись із труднощами забезпечення національних економік енергоресурсами, вони усвідомили, що питання енергонезалежності стали новим викликом для національної безпеки та визначальним орієнтиром міжнародних економічних відносин. Близько 90% енергії, яку споживають у світі, отримують з природних джерел, таких як: вугілля, нафта, газ. За прогнозами експертів Міжнародного енергетичного агентства, запасів нафти на Землі вистачить лише до 2030 – 2050 рр., природного газу – до 2060 – 2080 рр. [7]. Міжнародні енергетичні організації, зокрема: Міжнародне Агентство з відновлюваної енергетики (IRENA), Світова Енергетична Рада (WEC) та МЕА (IEA) розробили сценарії ймовірного розвитку енергетики (так звані сценарії декарбонізації), що відбивають майбутні зміни у структурі споживання енергетичних ресурсів

і забезпеченні основних критеріїв енергетичної політики. З огляду на прогнозовану ситуацію, енергетичні стратегії розвинутих країн орієнтовані на вирішення проблем енергозабезпечення шляхом використання нетрадиційних та відновлюваних джерел енергії, що мають невичерпний ресурсний потенціал та екологічну чистоту (абсолютну чи відносну).

Основою реалізації державної політики у сфері енергетики є законодавче і нормативно-правове регулювання. Механізм державного регулювання визначається як сукупність заходів адміністративного і організаційного характеру, спрямованих на стійке функціонування суб'єктів енергетичного сектора за допомогою розробки і реалізації управлінських рішень.

Розроблення енергетичної політики Європейського Союзу здійснюють усі керівні органи ЄС, проте провідну роль відіграє Європейська Комісія. Система енергетичного законодавства Євросоюзу відзначається єдиною нормативно-правовою базою, що формується низкою стратегічних директивів і дорожніх карт, розроблених Єврокомісією. Національні державні програми містять відмінності у підходах щодо її здійснення, викликані різним рівнем енергетичної інфраструктури країн, наявністю енергоносіїв, пріоритетами у забезпеченні енергетичної безпеки. Країни, що не є членами ЄС (Норвегія, Швейцарія, Україна та ін.), координують з ним свою енергетичну політику і беруть участь у відповідних програмах та ініціативах Євросоюзу. В більшості європейських країн стратегія енергоефективності набула характеру національної ідеї.

Як загальноєвропейська, так і національні програми у сфері енергоефективності розробляються в рамках реалізації Кіотських угод 1997 р. та Концепції ЄС "20/20/20", які передбачають збільшення частки поновлюваних джерел енергії (ВДЕ) у загальному обсязі енергоспоживання Євросоюзу і підвищення ефективності використання енергії до 20 % до 2020 р. Нова Енергетична Стратегія ЄС до 2050 р. (EU 2050 Energy Strategy) пріоритетними напрямками у сфері енергетики визначила: створення панєвропейського об'єднаного енергетичного ринку; зростання обсягу власного виробництва енергії; лідерство Європи у питаннях енергетичних технологій та інновацій; посилення позицій ЄС на зовнішніх енергетичних ринках; поширення екологічних вимог до енергоспоживання. Конкретні орієнтири розвитку європейської енергетики передбачають збільшення на 27 % енергоефективності та зростання до 70 % відновлюваних джерел енергії. До 2030 р. очікується збільшення валового національного продукту на 79 % при зниженні енергоспоживання на 7 %. До 2050 р. планується забезпечити більше половини усього енергоспоживання електроенергією, 80 % якої має вироблятися з альтернативних джерел (15 % припадає на АЕС). Використання нафтопродуктів прогнозується переважно на транспорті для перевезень пасажирів та вантажів на великі відстані [6].

У США політика енергозбереження і енергоефективності входить у число найважливіших завдань держави як засіб зменшення її енергозалежності. Правовою основою енергетичної політики є закони і акти федерального уряду та урядів штатів. Функції з організації моніторингу ефективності використання енергетичних ресурсів здійснює Міністерство енергетики.

Основоположними законодавчими документами у сфері енергозбереження є федеральні закони про раціональне використання енергії (Energy Conservation Law), про енергетичну політику (law on energy policy of 2005) та про енергетичну незалежність і безпеку (law on energy independence and security of 2007). Закони штатів визначають принципи, норми і правила, що діють у сфері енергетики на місцевому рівні (стосовно розвідки, видобутку, зберігання, постачання, маркетингу, цінового утворення, збуту тощо), у тому числі й нетрадиційних або поновлюваних джерел енергії [3, с. 38].

Американська стратегія розвитку енергетичної політики виокремлює п'ять основних напрямів: підвищення ефективності діючої енергетичної системи при збереженні якості довкілля і енергетичної безпеки; забезпечення безперебійного енергопостачання, незалежно від коливань імпорتنих надходжень; впровадження енергоощадних і безпечних видів енергетичного виробництва; проведення фундаментальних наукових досліджень і технологічних розробок нових економічних і екологічно чистих енергетичних джерел; розвиток міжнародної торговельно-економічної і технічної співпраці з глобальних проблем енергетичної безпеки. США планують до 2020 р. знизити енергоемність економіки на 25 % (порівняно з показниками 2005 р.) [9].

Державна енергетична політика Японії містить масу особливостей, що визначаються специфікою ринкової моделі її економіки. Для країни, де 90 % енергоносіїв імпортується, стабільність на світовому ринку енергоресурсів і зміцнення власної енергетичної безпеки є життєво важливою. Зважаючи на загострення конкуренції за ресурси, Японія провадить політику твердого державного регулювання й докладає максимум зусиль до зниження рівня споживання енергоресурсів. Визначальним законодавчим актом у сфері енергозбереження є Закон про раціональне використання енергії (Energy Conservation Law), реалізація якого, на думку експертів, сприяла підвищенню на 37 % енергоефективності японської економіки за останні 30 років.

Згідно з положеннями довгострокової енергетичної стратегії, Японія до 2030 р. планує підвищити рівень самозабезпечення енергією з 18 до 70 % за рахунок впровадження сонячної енергетики, електричних автомобілів та енергозберігаючої побутової техніки. Водночас вона країна робить спроби зайняти основну частину сегмента міжнародного ринку енергозберігаючих технологій, намагаючись забезпечити тим самим стабільний розвиток промисловості та енергетичну безпеку країни [5, с. 102].

Крім методів прямого (законодавчого і адміністративного) регулювання енергетичної сфери, держави застосовують механізми економічного впливу шляхом запровадження фінансових стимулів і надання відповідних пільг, які заохочували б впровадження програм з енергозбереження. Наприклад, в Австрії, Італії, Франції, Данії, Бельгії (Фламандський регіон), Великобританії, США, Бразилії діє система державних сусидій і дотацій, що являє собою різного виду компенсації частини витрат на закупівлю енергоощадного або високоенергоєфективного обладнання. В Австрії на реалізацію енергозберігаючих заходів з бюджету виділяється понад 100 млн євро, причому понад 2/3 цієї суми йде на підвищення енергоєфективності житлового сектора. У Франції держава фінансує не менше 25 – 30 % вартості енергозберігаючих заходів господарських організацій. Державне субсидування зеленої індустрії в Німеччині, Італії та Іспанії сприяло тому, що сьогодні в цих країнах до 30 % загальної кількості споживаної електрики забезпечується за рахунок використання відновлюваних джерел енергії (переважно сонячних станцій). У США діє програма бюджетного субсидування придбання домовласниками теплоізоляційних матеріалів та енергоощадного обладнання з оформленням безпосередньо в торговій мережі зниження вартості товару в розмірі до 50 %. У Данії, споживач, який встановив енергоєфективний бойлер (класу А та вище) у комбінації з джерелом “зеленої” енергії, має право розраховувати на компенсацію до 15 % від вартості вкладень [4, с. 41].

До економічних механізмів державної політики у сфері енергетики належить також зниження податкових ставок або податковий кредит. Програми пільгового кредитування поширені у Німеччині, Швеції, Італії, Японії, Південній Кореї, де на частку податкових пільг припадає до 20 % від загального обсягу фінансового стимулювання енергозбереження. В Японії програма пільгового кредитування передбачає пільги двох видів: у разі придбання, оренди або лізингу енергозберігаючого обладнання вартістю до 270 млн ієн японська фінансова корпорація JFC надає кредит за спеціальними пільговими ставками, понад цієї суми – за стандартними ставками. Для малих підприємств (7 % від базової вартості придбаного обладнання) і для всіх інших – 30 %.

У багатьох країнах допомога для впровадження програм з підвищення енергоєфективності надається через систему грантів. Зокрема, у Фінляндії інвестиційні гранти, що надаються державою енергоспоживачам на проведення енергозберігаючих заходів, покривають до 30 % від їх загальних капітальних витрат. Уряд здійснює також субсидування до 50 % вартості проведених в країні енергоаудитів. У Данії запроваджено інвестиційні гранти для будівництва мереж централізованого теплопостачання та ремонту теплових мереж з компенсацією 30 – 60 % капіталовкладень за умови обов'язкового підключення їх до магістральної мережі. У США гранти від міністерства енергетики спрямовуються на розвиток локальних стандартів і програм з енергоєфективності (в залежності від галузі та обсягу вкладень в інновації). Економічні методи державної політики фінансування, пільгового кредитування та економічного стимулювання в окремих країнах відображено у табл. 1.1.

Як видно з наведеної табл. 1.1, в розвинутих країнах саме держава забезпечує фінансову та податкову підтримку енергозбереження та енергоєфективності. Причому, як показує зарубіжна практика, організація цих заходів у сучасних умовах зазнає суттєвих змін, а саме: пільги і заохочення є набагато сильнішою мотивацією для здійснення енергоєфективності, ніж штрафи і санкції.

Крім вже зазначених інструментів державного впливу, впроваджуються обов'язкові стандарти енергетичної ефективності, енергетичні аудити, енергетичний менеджмент, стимулювання попиту на енергоєфективні товари тощо. Міжнародні й національні стандарти енергоєфективності сприяють виробництву більш ефективних товарів і поступовому витісненню з ринку застарілих технологій. Центральним елементом таких програм є впровадження положень міжнародного стандарту енергетичного менеджменту ISO 50001:2011 із додатковими національними вимогами щодо виходу на покращені енергетичні характеристики.

У Європі маркування побутової техніки та автомобілів було запроваджене Директивами Європейської Комісії у 1990-х роках. Маркування будівель та помешкань ініціювала Данія, до якої долучилися Греція, Італія і Португалія. Майже в усіх європейських країнах діють програми щодо відмови від застосування ламп накаливання та скорочення продажу побутової техніки з підвищеним рівнем споживання електроенергії. Введення системи маркування за класами ефективності (A+, A++, A+++), дає змогу скоротити щорічне споживання електроенергії на 3 – 5 %. У США, діє програма сертифікації “Energy Star”, логотипом якої маркуються прилади із енергоспоживанням на 20 – 30 % нижче аналогів. Сьогодні цей логотип можна побачити на товарах понад 60 категорій Запровадження Японією державної програми “Лідер” (Top-Runner program) і введення особливої системи маркування

енергоекономічності (Energy-Saving Labeling System) підштовхнуло національних виробників побутових електроприладів до пошуку шляхів вирішення проблеми економії електроенергії на стадії виробництва при одночасному підвищенні технічних характеристик своєї продукції. Згідно з положеннями довгострокової державної енергетичної стратегії Японія 2030 р. планує підвищити рівень самозабезпечення енергією з 18 до 70 %. Обов'язкове маркування для автомобілів та електричного обладнання існує в більшості країн світу.

*Таблиця 1.1*

**Комплекс заходів державного стимулювання енергоефективності**

Країни	Перелік заходів
Більшість країн ЄС, США, Японія	Введення стандартів енергоефективності, створення системи контролю за використанням енергоресурсів
Розвинені країни Євросоюзу, Японія, США	Підтримка впровадження нових енергетично ефективних технологій за допомогою фінансування в галузі енергозбереження
Німеччина, Данія, Франція, Швеція, Японія, США	Впровадження систем енергетичного менеджменту відповідно до стандарту ISO 50001
Японія, США, Бельгія, Данія, Нідерланди, Великобританія, Ірландія	Створення системи об'єктивних ключових показників енергоефективності; впровадження гнучкої системи тарифів
Німеччина, Фінляндія, США, Японія, Південна Корея	Державне субсидування та пільгові позики на розробку і впровадження енергетично ефективних технологій
Тайвань, Японія	Урядові низькопроцентні кредити на придбання енергозберігаючого обладнання
Японія, США, Франція, Німеччина, Італія, Швеція, Китай, Австралія	Податкові пільги для компаній, що займаються розробкою, впровадженням та використанням енергозберігаючого обладнання
США, Данія, Нідерланди, Німеччина, Японія	Надання державних дотацій і субсидій на цілі енергозбереження малим підприємствам і домовласникам
США, Японія, Франція, Нідерланди, Люксембург, Великобританія, Данія	Формування нової споживчої культури, заснованої на дбайливому природокористуванні й свідомому виборі енергозберігаючих технологій
Країни ЄС, Японія, США, Китай	Державне фінансування і регулювання сфери наукових досліджень конструкторських і технологічних розробок в галузі енергозбереження
<b>Встановлення державних нормативів споживання</b>	
Японія, США	Транспортних засобів
Японія, США, Італія, Бельгія, Португалія	Електропобутових приладів
Японія, США, країни ЄС	Будівель та споруд

*Джерело: авторська розробка*

Новим механізмом стимулювання енергетичної ефективності, що з'явився практиці розвинених країн в останні роки, виявилися різного роду угоди між регіональними або місцевими органами влади та приватним бізнесом і домогосподарствами. Вважається, що такі угоди дозволяють більш гнучко домогтися додаткових результатів у підвищенні енергоефективності при більш низьких державних витратах, особливо у тих областях, де незадовільно працюють звичайні методи державного регулювання – податки, стандарти, обов'язкове ліцензування тощо.

Отже, розглянувши досвід країн світу у сфері розробки, реалізації та координації енергетичної політики можна дійти таких узагальнюючих висновків. У світовій практиці не існує певних стандартизованих та уніфікованих підходів до формування національної енергетичної політики, оскільки остання, в першу чергу, базується на потребах в енергоносіях та національних ресурсних можливостях для їх задоволення.

Результативність державної політики енергоефективності та енергозбереження залежить, насамперед, від наявності соціально-економічної та екологічної привабливості впровадження відповідних заходів з енергоефективності, яка визначається не тільки рівнем цін і тарифів на енергію та енергоносії, але й досягненням соціального ефекту, вирішенням існуючих екологічних проблем, забезпеченням захисту навколишнього середовища.

Наявний в Україні потенціал підвищення енергоефективності (до 40 % сумарного споживання енергоресурсів) необхідно розглядати як перспективний ринок збуту енергозберігаючої, енергоефективної техніки та технологій, що має дати імпульс розвитку вітчизняних технологій у сфері енергозбереження та енергоефективності.

Курс на енергоефективність вказує перспективні напрямки для розвитку інновацій, розширює можливості підприємницької діяльності в галузі енергозбереження та енергоефективності, стимулює попит на енергозберігаючі продукти і технології. Наявність істотного потенціалу енергозбереження в національній економіці України – шанс для модернізаційного та інноваційного розвитку нашої країни.

## 1.2. Енергетична безпека країни: світовий досвід та вітчизняні реалії

© Шевченко О. М.

*к.е.н., доцент кафедри економічної теорії та економічної кібернетики,  
Полтавський національний технічний університет ім. Юрія Кондратюка, м. Полтава, Україна*

Упродовж останнього століття світогосподарський розвиток характеризується глибокими якісними змінами паливно-вуглеводневої моделі енергозабезпечення світового господарства, обумовленими як стрімким вичерпуванням невідновлювальних енергетичних ресурсів, так і зростаючим глобальним попитом на них з боку економічних суб'єктів. Тому стабільне і надійне забезпечення економіки енергоносіями служить основою як енергетичної безпеки, так і національної безпеки будь-якої держави в цілому. Проблема підвищення енергетичної безпеки характерна і для української економіки, яка і досі залишається енергоємною. Забезпечення енергетичної безпеки на сучасному етапі є одним з важливих умов інноваційного розвитку держави. Крім того, енергетика є потужним фактором геополітичної взаємодії з іншими країнами. У цьому контексті забезпечення енергетичної безпеки України є істотним дієвим механізмом відстоювання своїх інтересів на зовнішньополітичній арені.

Вивчення та аналіз наукової літератури свідчить, що на сучасному етапі єдиної думки щодо визначення сутності енергетичної безпеки не існує. Серед численних дефініцій “енергетична безпека” можна виділити визначення, представлені у табл. 1.2.

На основі аналізу поглядів різних авторів на сутність енергетичної безпеки, можна зробити висновок про те, що одні дослідники сутність цього поняття розглядають як невід’ємну складову економічної безпеки; інші – як систему поєднання потенціалів – економічного, політичного, техніко-технологічного, ресурсного, енергетичного; як стан захищеності особистості, суспільства, держави від внутрішніх і зовнішніх загроз. Є наукові підходи до розмежування значення поняття “енергетична безпека” для імпортерів і експортерів енергоресурсів. Однак, у кожному визначенні прослідковується ключова особливість поняття “енергетична безпека”.

Отже, виходячи із узагальнення різноманітних поглядів на сутність енергетичної безпеки, можна уточнити визначення цієї категорії. Енергетична безпека являє собою забезпечення стійкого і безперебійного постачання енергетичними ресурсами прийнятної якості в нормальних і надзвичайних умовах з мінімальною шкодою для навколишнього середовища з метою забезпечення сталого соціально-економічного розвитку країни.

Проблема енергетичної безпеки для міжнародного співтовариства в цілому, а також для окремих регіонів і країн стає основним фактором їх сталого розвитку. Найцікавішою країною в плані досвіду забезпечення енергетичної безпеки є США. Аналіз американського досвіду забезпечення енергетичної безпеки показує, що для підтримки енергетичної безпеки країни необхідно дотримуватися кількох принципів:

- принцип диверсифікації поставок (наявність можливості альтернативних і різноманітних джерел постачання). Диверсифікація залишається основним відправним принципом енергетичної безпеки для нафти та газу;
- принцип стійкості, який є основою безпеки (наявність запасних виробничих потужностей, стратегічних запасів, резервних поставок, плану реагування на їх постачання);
- принцип інтеграції країн з метою стабільного постачання нафти;
- принцип оперативності отримання важливої інформації [10, с. 39].

США, як свідчать дослідження, є одночасно як найбільшим в світі споживачем енергоресурсів, так і значним їх виробником. При цьому зростання споживання в цілому істотно випереджає збільшення виробничих можливостей. З цієї причини американська енергетика протягом декількох десятиліть слугувала джерелом занепокоєння при постановці питання про забезпечення стійкого зростання економіки США і її незалежності від зовнішніх шоків.

Важливу роль в енергетичному балансі США відіграє сланцевий газ. Результати “сланцевої революції” вносять істотні корективи в зміст національної концепції енергетичної безпеки США. “Сланцева революція”, заснована на двох нових технологіях видобутку вуглеводнів: горизонтальне буріння, що забезпечує глибоке підземне проникнення в сланцеві шари, і гідророзрив пласта, при якому в гірські породи під великим тиском нагнітається рідина для вивільнення нафти і газу. У результаті нових технологій США з 2007 р. стали збільшувати видобуток сланцевого газу на 50 % в рік, і його частка в загальному виробництві зросла з 5 % до 39 % [20].

**Підходи до визначення поняття “енергетична безпека”**

Автор	Визначення енергетичної безпеки
Є. А. Бобров [1, с. 20]	Захищеність у енергозабезпеченні держави, захищеність держави в енергетичній сфері, а також захищеність систем енергозабезпечення в різних умовах
К. Денчев [3, с. 57]	Для країн-імпортерів – це передусім забезпечення надійності їх енергопостачання, диверсифікація джерел постачання енергоресурсів, забезпечення безпеки енергетичної інфраструктури, впровадження нових технологій для зниження залежності від імпорту енергоресурсів. Для країн-експортерів – це закріплення на стратегічних ринках за економічно вигідними цінами, забезпечення капіталу та фінансування інвестицій в інфраструктуру та розробку ресурсів
М. Г. Земляний [7, с. 61]	Стан її захищеності від загроз енергетичного характеру
М. П. Ковалко [8, с. 28]	Складова економічної безпеки, цілеспрямований вплив суб'єкта управління на загрози і небезпеки, створення державними та недержавними інституціями необхідних та достатніх умов для унеможливлення дефіциту в забезпеченні споживачів економічно доступними паливно-енергетичними ресурсами прийнятної якості в нормальних і надзвичайних умовах, послідовне і активне проведення політики енергозбереження та диверсифікації джерел енергопостачання, забезпечення ефективного функціонування підсистемами енергетичної безпеки
В. В. Лайко [9]	Стан захищеності держави або регіону в енергетичній сфері від наявних і потенційних загроз внутрішнього та зовнішнього характеру шляхом диверсифікації джерел постачання енергоресурсів, забезпечення безпеки енергетичної інфраструктури, впровадження нових технологій для зниження залежності від імпорту енергоресурсів за рахунок розвитку нетрадиційної енергетики
В. В. Микитенко [12, с. 41]	Система поєднання потенціалів – економічного, політичного, техніко-технологічного, ресурсного і, власне, енергетичного, а також факторів наукового, географічного, організаційного, управлінського тощо, без урахування яких аналіз будь-якої безпеки неможливий
С. В. Мочерний [5, с. 354]	Наявність економічного суверенітету країни у забезпеченні себе паливно-енергетичними ресурсами
А. В. Прокіп [15, с. 11]	У вузькому розумінні – як незагрозливий рівень залежності країни від зовнішніх постачальників енергоресурсів, який унеможливує функціонування національної економіки та її енергетичного сектору від можливості зовнішнього політичного тиску; у широкому розумінні – охоплює всі сфери життя людини, з якими пов'язана енергетика
Сайт Світової енергетичної ради [18]	Впевненість у тому, що енергія буде в наявності і в тій кількості та якості, які вимагаються за даними економічних умов
Сайт Міжнародного енергетичного агентства [13]	Безперервна фізична доступність за ціною, яка є прийнятною з точки зору дотримання екології
О. М. Суходоля [19, с. 41]	Стан захищеності життєво важливих “енергетичних інтересів” особистості, суспільства, держави від внутрішніх і зовнішніх загроз, що забезпечує безперебійне задоволення споживачів економічно доступними паливно-енергетичними ресурсами прийнятної якості за нормальних умов й у надзвичайних ситуаціях
А. І. Шевцов [21, с. 41]	Стан готовності ПЕК країни щодо максимально надійного, технічно безпечного, екологічно прийняттого, економічно ефективного та достатньо обґрунтованого енергозабезпечення економіки держави й населення, а також щодо гарантованого забезпечення можливості керівництва держави у формуванні і здійсненні політики захисту національних інтересів у сфері енергетики без зовнішнього і внутрішнього тиску

*Джерело: узагальнено автором*

З метою посилення енергетичної незалежності США активно розвивають альтернативні джерела енергії, їх впровадження дозволяє економити енергоресурси за рахунок збільшення ефективності їх використання та відкриває шлях до використання джерел наступного покоління енергії. Найбільшим виробником відновлювальної енергії в Сполучених Штатах є альтернативні гідроелектростанції. Країна є четвертим за величиною виробником гідроелектроенергії в світі після Китаю, Канади та Бразилії. Лідером вітроенергетики є Техас, Айова та Каліфорнія. В пустелі Мохаве працюють найбільші в світі сонячні теплові електростанції. Гейзери в Північній Каліфорнії забезпечують найбільше у світі виробництво геотермальної енергії, за її потужністю Сполучені Штати є світовим лідером.

Одним із важливих факторів посилення енергетичної незалежності країни є енергоефективність. Аналіз досвіду США у цьому напрямі дозволяє констатувати ефективне впровадження різних типів інновацій, серед яких: ефективні водонагрівачі; поліпшені морозильники; передові технології систем опалення домогосподарств, вентиляції, охолодження, компактні люмінесцентні лампи,



теплозберігаючі вікна. Застосування енергоефективних технологій супроводжується фінансовими стимулами та податковими пільгами. Так, зокрема, до 2016 р. діяли 30 % пільги компаніям виробникам устаткування для фотоелектричних і термальних електростанцій; 30 % пільгового відрахування надається при введенні в дію нових повітряних турбін невеликої потужності [4].

Країни ЄС мають певні особливості у забезпеченні енергетичної безпеки. Це пов'язано з тим, що кожна країна має різний рівень економічного розвитку, енергетичної інфраструктури, наявності енергоносіїв тощо. У цьому контексті кожна європейська країна має свої пріоритети в забезпеченні енергетичної безпеки. Розглянемо ситуацію із забезпеченням енергетичної безпеки на прикладі декількох країн, а саме Франції, Німеччині, Великобританії та Австрії.

Франція має пріоритети у забезпеченні енергетичної безпеки на основі виробництва ядерної енергії. Створення ядерної енергетики у Франції почалося у 70-х рр. у відповідь на нафтову кризу та з метою забезпечення своєї енергетичної незалежності. На сучасному етапі дана країна експлуатує 58 комерційних ядерних реакторів, які забезпечують виробництво 80 % внутрішньої енергії. Франція, як лідер у цій галузі, розробила екологічно чисті технології для захоронення радіоактивних відходів, що дозволяє відновити цінні елементи з відпрацьованого палива і скоротити високоактивні відходи [24].

Німеччина для забезпечення енергетичної безпеки здійснює політику подальшого зниження споживання природного газу за рахунок розвитку біопалива та альтернативних видів палива, прогресивного оподаткування, впровадження ефективних стандартів для будівель та транспорту. Основними цілями є досягнення 55 % частки поновлюваних джерел енергії у виробництві електроенергії до 2035 р. [23].

Енергетична безпека Великобританії значною мірою залежить від імпорту енергоносіїв. Для забезпечення енергетичної безпеки ця країна постачає паливо з 40 країн світу. Ключовими елементами енергетичної стратегії Великобританії є: енергоефективність та скорочення попиту на енергію; розвиток відновлюваних джерел енергії; електрифікація економіки; будівництво нових атомних електростанцій [25].

Метою енергетичної стратегії Австрії є розробка стійкої енергетичної системи, яка дозволить надати доступні для приватного споживання енергетичні послуги, реалізацію для бізнесу правил ЄС. В якості основних цілей передбачається досягнення конкурентоспроможності австрійської енергетики, безпека поставок, їх екологічність та економічність. Основними пріоритетами австрійської енергетичної політики є енергоефективність; поновлювані джерела енергії; безпека постачань та їх диверсифікація; стабілізація кінцевого постачання енергії. Енергетична стратегія Австрія до 2020 р. включає скорочення викидів парникових газів принаймні на 20 % нижче рівня 1990 р.; забезпечення 20 % споживання енергії з поновлюваних ресурсів, збільшення ефективності використання енергії на 20 % [22].

Отже, основними напрямками стратегії енергобезпеки країн ЄС є розвиток внутрішнього енергетичного ринку, зростання енергоефективності, збільшення національного виробництва поновлюваних видів енергії і диверсифікація поставок енергоносіїв.

Велику увагу енергетичної безпеки приділяє і Китай. КНР, яка поставила економічне зростання в якості головної мети своєї національної політики, постійно потребує стабільного енергозабезпечення. У 2005 р. була оприлюднена Національна стратегія розвитку енергетики на 15-річний період (до 2020 р.). Фундаментальними положеннями цієї стратегії щодо забезпечення енергетичної безпеки є наступні:

- 1) дипломатична робота, спрямована на отримання прав базування, що робить правомірним великомасштабне присутність Китаю в районі Індійського океану;
- 2) зміцнення економічних зв'язків з сусідніми країнами і країнами-постачальниками для забезпечення постійних поставок енергоресурсів;
- 3) впровадження альтернативних видів палива та їх розвиток, а також економія енергії з метою зниження залежності від імпорту вуглеводневої сировини;
- 4) заохочення китайських компаній до участі та інвестування в закордонні проекти видобутку нафти і газу;
- 5) утворення стратегічних запасів нафти і створення ринків нафтових ф'ючерсів, що дозволить компаніям страхувати цінові ризики [11, с. 97].

Що стосується України, то енергетична безпека на сучасному етапі розвитку держави перебуває на низькому рівні, оскільки більшу частину енергетичних ресурсів, таких як нафта та газ, імпортує з інших країн. З огляду на обмеженість природних ресурсів в Україні, у 2015 р. показник імпортозалежності становив, з урахуванням постачання ядерного палива, 51,6 %, що становить ризик для енергетичної безпеки [16].

Однією із найбільших проблем вітчизняної економіки та енергосектора зокрема є нераціональне використання енергоресурсів та енергії, а також значні їх втрати під час отримання, передачі та споживання і відповідно низький рівень енергоефективності економіки країни. Втрати енергії зумовлені високим рівнем моральної та фізичної зношеності інфраструктури і виробничих фондів. Система електричних мереж, загальна протяжність яких понад 900 тис. км, зношена в середньому 60 % і потребує інвестицій в обсязі 40 млрд. дол. США, близько 400 млн. м<sup>2</sup> житла потребує капремонтів, зношеність багатьох об'єктів теплової енергогенерації складає 40 – 70 % [6].

За рівнем енергоємності ВВП (обсяг енергоспоживання в розрахунку на одиницю отриманого ВВП) у 2014 р., за даними Міжнародного енергетичного агентства, Україна посідала перше місце у Європі та дев'яте у світі: 0,79 т н.е./тис. дол. США. Високі рівні енергоємності України зумовлені як чинниками об'єктивного характеру, коли значні обсяги споживання енергії є об'єктивно необхідними та цілком природними, так і суб'єктивного, які пов'язані з неефективністю споживання енергії та існуванням високих резервів до її економії. Згідно нової енергетичної стратегії України "Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність" планується досягнути зниження енергоємності ВВП більш ніж у два рази до 2035 р. [14].

Що стосується розвитку сектору відновлюваної енергетики в Україні, то він не відповідає поточним вітчизняним потребам. Так, частка відновлюваних енергоресурсів у сукупному обсязі виробництва електроенергії в Україні залишається на критично низькому рівні, який за 2016 р. склав 1,25 % [17]. При цьому частка відновлюваної енергетики у сукупному внутрішньому національному постачанні первинної енергії складала близько 3 %, а у загальному кінцевому енергоспоживанні – близько 2 % [2].

Отже, для стабільного та своєчасного забезпечення енергетичної безпеки необхідно здійснювати модернізацію українського енергетичного сектору, а також його адаптації до нових геополітичних умов. У цьому контексті, в новій енергетичній стратегії України до 2035 р. визначено три основні етапи розвитку енергетичного сектору України. Перший – реформування енергетичного сектору здійснюватиметься відповідно до законодавства ЄС (до 2020 р.). Другий етап – до 2025 р., орієнтований на оптимізацію та інноваційний розвиток енергетичної інфраструктури, що дозволить інтеграцію об'єднаної енергетичної системи України з енергосистемою Європи. Третій етап – буде спрямований на забезпечення сталого розвитку енергетики і будівництво нової генерації (до 2035 р.) [14].

Отже, енергетична безпека є ключовим питанням системи національної безпеки будь-якої країни світу. Крім того, саме вона впливає на авторитет держави в сучасному геополітичному просторі.

Для сучасного стану світової енергосфери характерний нерівномірний розвиток енергетики, різна направленість щодо забезпечення своєї енергетичної безпеки та вирішення її нагальних проблем. При цьому існують загальнозначущі аспекти енергетичної безпеки, в різному ступені близькі багатьом країнам світу, а саме: підвищення енергоефективності та енергозбереження, впровадження відновлюваних джерел енергії, диверсифікація поставок енергоносіїв, збільшення інвестицій в енергетичну інфраструктуру і інноваційні технології.

Аналіз національних аспектів енергетичної безпеки свідчить про низький рівень її забезпечення в Україні. Структура енергетичного балансу України, на відміну від розвинутих країн, характеризується абсолютним домінуванням невідновлювальних вуглеводневих ресурсів, великим рівнем імпортової залежності за домінуючим ресурсом у загальному постачанні первинної енергії, значним зносом основних виробничих фондів підприємств паливно-енергетичного комплексу, високим рівнем енергоємності ВВП, замалою часткою відновлювальних джерел у загальному постачанні первинної енергії. З метою перетворення паливно-енергетичного комплексу України на сучасний конкурентний сектор національної економіки та забезпечення енергетичної безпеки держави відповідно до нової енергетичної стратегії до 2035 р. невідкладними заходами мають стати докорінна модернізація вітчизняної економіки на основі енергоефективних технологій; диверсифікація зовнішніх джерел і шляхів постачання енергоресурсів; зниження енергоємності економіки, що призведе до оптимізації енергетичного балансу та дозволить створити міцне підґрунтя для сталого енергетичного майбутнього країни.

### **1.3. Перспективи та проблеми гармонізації енергетичного законодавства України зі стандартами Європейського Союзу**

**© Кобець С. П.**

*к.е.н., доцент кафедри економічної теорії та економічної кібернетики,  
Полтавський національний технічний університет ім. Юрія Кондратюка, м. Полтава, Україна*

**© Щербініна С. А.**

*ст. викладач кафедри економічної теорії та економічної кібернетики,  
Полтавський національний технічний університет ім. Юрія Кондратюка, м. Полтава, Україна*

Однією із основних проблем сьогодення для України та Європейського Союзу (ЄС), як імпортерів енергоносіїв, є безпечне постачання енергоресурсів та диверсифікація їх надходження. В контексті цього надійність української газотранспортної системи (ГТС) має для ЄС стратегічне значення, а інтеграція енергетичного ринку України до європейського є особливим спільним

пріоритетом. Для України поглиблення співпраці з ЄС має бути реалізовано шляхом узгодження ключових напрямів енергетичної політики України та ЄС у сфері енергетичної безпеки, які передбачають вирішення таких завдань: забезпечення прав споживачів, недопущення домінування одного постачальника на ринку, підвищення прозорості енергетичної галузі, розширення джерел постачання, лібералізація газового ринку та підвищення рівня енергоефективності.

Болучим питанням енергетичної політики країни є регулювання енергетичних послуг, зокрема соціальна складова – ціна енергетичних послуг для населення та його спроможність оплачувати ці послуги. Проблемними залишаються надійність і якість енергозабезпечення населення, що обумовлено неспроможністю підприємств житлово-комунального господарства ефективно працювати в ринкових умовах.

Отже, необхідним і актуальним є формування конкурентного середовища на вітчизняних енергетичних ринках та гармонізація українського енергетичного законодавства до стандартів ЄС.

Щодо тлумачення сутності поняття “ринок” Ніколенко Ю. В. зазначає, що ринок – синтетична категорія, за допомогою якої визначаються різноманітні за змістом і параметрами явища. У широкому розумінні ринок означає певний спосіб організації економічного життя, характерними ознаками якого є: самостійність учасників економічного процесу; комерційний характер їхньої взаємодії; суперництво (конкуренція) господарюючих суб’єктів; формування економічних пропорцій під впливом динаміки цін та конкурентної боротьби; ціни, що складаються на основі попиту та пропозиції [1]. Мочерний С. В. стверджує, що “ринок є складовою товарно-грошових відносин, здебільшого їх організаційною формою. Ринок (у політекономічному аспекті) – сукупність відносин економічної власності з приводу вторинного привласнення й відповідного відчуження у сфері обміну через механізм цін на товари й послуги (передусім на ціну робочої сили), механізм інфляції, а також державного та наддержавного регулювання цін, попиту і пропозиції” [2].

Отже, ринок – це складна економічна категорія, яка об’єднує інтереси суб’єктів ринку з приводу купівлі-продажу товарів за умов територіальних, часових, кон’юнктурних обмежень.

Ринок енергоресурсів – це система відношень купівлі-продажу енергетичних ресурсів [3].

Енергоринок, як і інші товарні ринки, має певні особливості, а саме: багатоструктурність, оскільки ринку притаманне паралельне існування різних елементів та взаємодіючих сил; динамічність, бо всі характеристики ринку змінюються з часом; варіаційність, викликана тим, що ринку притаманні коливання як випадкові, так і постійні; циклічність, тобто повторюваність основних тенденцій розвитку через деякий час та притаманність ринку складних взаємозв’язків. Головною особливістю ринку енергетичних ресурсів є його обмеженість і, відповідно, постійне підвищення цін на енергоносії.

Структуру ринку енергетичних ресурсів представлено на рис. 1.1.

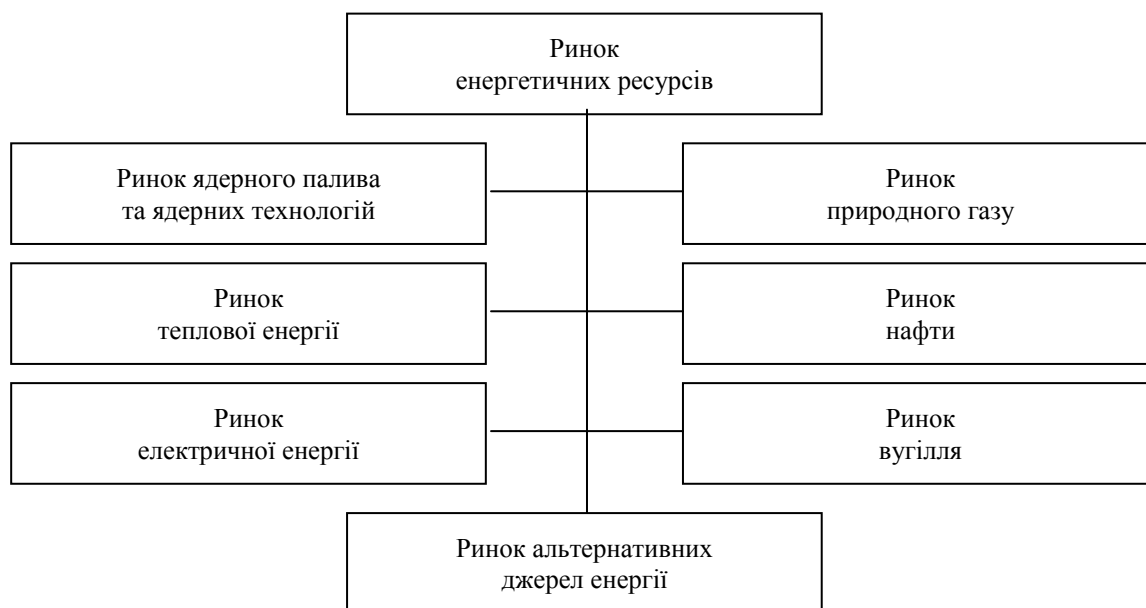


Рис. 1.1. Структура ринку енергоресурсів

Джерело: авторська розробка

Регулювання та функціонування ринку енергетичних ресурсів відбувається відповідно до нормативно-правової системи України.

На сьогодні в Україні законодавчо визначено сутність таких понять [4]:

- ринок електричної енергії – система відносин, які виникають між суб'єктами ринку при здійсненні купівлі-продажу електричної енергії та/або допоміжних послуг передачі та розподілу електричної енергії електричними мережами, постачанні електричної енергії споживачам;
- ринок теплової енергії – сфера обороту теплової енергії як товару, на який є попит і пропозиція;
- ринок природного газу – сукупність правовідносин, що виникають у процесі купівлі-продажу, природного газу, а також надання послуг з його транспортування, розподілу, зберігання (закачування, відбору), послуг установки LNG.

Завершено роботу над проектом Закону України “Про ринок вугільної продукції”, метою якого є встановлення правил торгівлі на ринку вугільної продукції в умовах поетапного роздержавлення енергетичної галузі, створення прозорого ринку вугільної продукції з рівними умовами ведення бізнесу для усіх суб'єктів господарювання, включаючи державні підприємства [5].

Основними гравцями на енергетичному ринку є постачальники, транзитери та споживачі енергоресурсів. На світовому енергетичному ринку конфлікт інтересів країн споживачів, транзитерів та постачальників енергетичних ресурсів сприяє загостренню проблем економічної безпеки між взаємозалежними державами.

В усіх законодавчих ініціативах України декларується вибір європейської моделі функціонування енергетичних ринків, а також її прагнення до якнайшвидшої інтеграції в європейський енергетичний простір.

Політика країн ЄС у сфері енергоефективності та енергозбереження характеризується наявністю нормативного, законодавчо-правового забезпечення, застосуванням різних інструментів та ініціатив, функціонуванням дієвої системи моніторингу та контролю за їх застосуванням, комплексним поєднанням з іншими напрямками державного регулювання, зваженою екологічною та економічною поведінкою як споживачів так і виробників енергоресурсів, що свідчить про її успішність.

Нормативно-правове забезпечення енергоефективності та енергозбереження в ЄС полягає в прийнятті низки стратегічних програмних документів, “Зелених книг”, відповідних Дорожніх карт і Директив, що утворюють єдину, надійну, сучасну європейську політику з раціонального та ощадливого використання паливно-енергетичних ресурсів.

18 березня 2004 р. Верховною Радою України був ухвалений Закон України “Про Загальнодержавну програму адаптації законодавства України до законодавства Європейського Союзу” [4]. Цим законом вперше в українську національну правову систему без перекладу був введений термін *acquis communautaire*. Під *acquis communautaire* (*acquis*) розуміється правова система Європейського Союзу, яка включає (але не обмежується ними) акти законодавства Європейського Союзу, ухвалені в рамках Європейського співтовариства, спільної зовнішньої політики та політики безпеки та співпраці у сфері юстиції та внутрішніх справ, тобто, *acquis communautaire* – це сукупність спільного правового надбання Європейського Союзу.

Адаптація законодавства України до законодавства ЄС – це сукупність взаємопов'язаних організаційних, правових, соціально-економічних, науковотехнічних процесів та заходів, спрямованих на зближення законодавства України із сучасною європейською системою права шляхом проектування нового і внесення змін в чинне законодавство України з огляду на загальні європейські стандарти, відображені у чинному законодавстві Європейського Союзу та країн ЄС. В широкому розумінні адаптація законодавства не обмежується лише безпосередньо внесенням змін до законодавства чи створенням нових актів, оскільки надзвичайно важливими складовими процесу адаптації є також імплементація та виконання адаптованого законодавства [6].

Зобов'язання української сторони щодо наближення вітчизняного енергетичного сектора до європейських стандартів закріплено у ряді документів (табл. 1.3).

Підписання УПС у 1994 р., а також ухвалення інших документів, які визначали правові засади співпраці організації з нашою державою, створило належні передумови для гармонізації українського законодавства з правом Євросоюзу, але головним недоліком цього процесу виявилася відсутність контролю із боку компетентних українських установ та Європейського Союзу. Крім того, гармонізацію законодавства не було пов'язано з процесом здійснення внутрішніх реформ у нашій державі.

З набуттям членства в Енергетичному Співтоваристві, Україна отримала можливість активно використовувати передовий досвід ЄС, який актуальний для модернізації нафто-газового, електроенергетичного, вугільного та ядерно-енергетичного секторів. Від країн учасників Енергетичного Співтовариства вимагається гармонізація нормативно-правової бази зі стандартами ЄС, імплементація Другого та Третього енергетичних пакетів. Підписаний Україною Протокол про приєднання до Енергетичного Співтовариства містить чіткий перелік нормативно-правових актів, які необхідно врахувати в українському законодавстві та часові рамки внесення відповідних змін. Зміни стосуються сфер видобутку та транспортування газу, електроенергії, навколишнього середовища та відновлюваних джерел енергії.

Таблиця 1.3

Правові засади співпраці України та ЄС в енергетичній галузі

Рік	Документ	Енергетична складова
Підписана 14.06.1994 Набула чинності 1.03.1998	Угода про партнерство і співробітництво між Україною і Європейськими Співтовариствами та їх державами-членами (УПС)	Співпраця за такими напрямками: вплив виробництва та споживання енергії на навколишнє середовище з метою запобігання або мінімізації шкідливим наслідкам результатів цієї діяльності для навколишнього середовища; підвищення економічно прийнятним і природобезпечним шляхом якості та безпеки енергозабезпечення, включаючи диверсифікацію постачальників; вироблення енергетичної політики; поліпшення управління та регулювання енергетичної галузі відповідно до вимог ринкової економіки; запровадження ряду інституційних, правових, фінансових та інших передумов, необхідних для сприяння зростанню торгівлі енергією та інвестиціям; сприяння економії енергії та її ефективному використанню; модернізація, розвиток і диверсифікація енергетичної інфраструктури; удосконалення технологій енергетичного забезпечення та кінцевого використання всіх видів енергії; управління та технічна підготовка в енергетичній галузі
1.12.2005	Меморандум про порозуміння щодо співробітництва в енергетичній галузі	Посилення співпраці за напрямками: ядерна безпека; інтеграція ринків електроенергії та газу; підвищення безпеки енергопостачання та транзиту вуглеводнів; структурна реформа, підвищення стандартів із техніки безпеки та охорони довкілля у вугільній галузі
24.09.2010	Протокол про приєднання України до Договору про заснування Енергетичного Співтовариства	Інтеграція українського енергетичного сектору з ринками країн ЄС, посилення власної енергетичної безпеки, можливість залучення міжнародних кредитів та технічної допомоги
27.06.2014	Угода про Асоціацію між Україною, з однієї сторони, та Європейським Союзом, Європейським Співтовариством з атомної енергії і їхніми державами-членами, з іншої сторони	Підвищення енергетичної безпеки, конкурентоспроможності та стабільності, з метою економічного зростання та досягнення прогресу у напрямку ринкової інтеграції, в тому числі шляхом поступового зближення в енергетичному секторі та через участь у регіональних ініціативах щодо співробітництва у сфері енергетики. Співробітництво у нормативно-правовій сфері враховуватиме необхідність забезпечення відповідних зобов'язань щодо надання публічних послуг, зокрема заходи щодо інформування і захисту споживачів від нечесних методів ціноутворення, а також доступу до доступних енергетичних ресурсів для споживачів, зокрема найбільш вразливих верств населення

Джерело: узагальнено авторами за даними [4]

З підписанням у 2014 р. Угоди про асоціацію між Україною, з однієї сторони, та Європейським Союзом, Європейським співтовариством з атомної енергії і їхніми державами-членами, з іншої сторони, розпочався новий етап розвитку міжнародного співробітництва України з країнами Європейського Союзу у сфері безпеки використання ядерної енергії. Імплементация цієї Угоди вимагає від України досягнень у забезпеченні поваги до спільних цінностей і прогресу в наближенні з ЄС у політичній, економічній та правовій сферах. Серед ключових завдань Угоди передбачається досягнення високого рівня ядерної безпеки, посилення енергетичної безпеки, регуляторної адаптації до ключових елементів *acquis* ЄС. Україна підтверджує зобов'язання наближати своє енергетичне законодавство до стандартів ЄС у сфері енергетики, водночас сприяючи енергоефективності та використанню поновлюваних джерел енергії.

Виконання зобов'язань у сфері енергетики, передбачених Угодою, здійснюється комплексно разом із виконанням зобов'язань, пов'язаних із членством України в Енергетичному Співтоваристві.

Узагальнюючи весь комплекс заходів, що приймаються у ЄС для підвищення енергоефективності, можна виділити три головні напрями: застосування альтернативних джерел енергії, модернізація житла та устаткування, нормативне і оперативне регулювання енергоспоживання. Важливий напрямок енергозабезпечення в житлово-комунальному господарстві – альтернативна енергетика.

У табл. 1.4 наведено основні Директиви ЄС та закони України (інтегровані з відповідними положеннями європейських директив), що регулюють функціонування ринків енергоресурсів, а також ринку ЖКГ як одного з найбільших споживачів енергоресурсів.

**Законодавство ЄС та України у сфері енергетики та енергоефективності**

Європейське законодавство	Українське законодавство
<b>Ринок ядерного палива та ядерних технологій</b>	
<p>Директива Ради 2006/117/Євратом від 20 листопада 2006 р. про нагляд та контроль за перевезенням радіоактивних відходів та відпрацьованого ядерного палива.</p> <p>Директива Ради 2013/59/Євратом від 5 грудня 2013 р., що встановлює основні норми безпеки для захисту від небезпеки, яка виникає від іонізуючої радіації та припиняє дію Директив 89/618/Євратом, 90/641/Євратом, 96/29/Євратом, 97/43/Євратом та 2003/122/Євратом.</p> <p>Директива Ради 2014/87/Євратом від 8 липня 2014 р., яка змінює Директиву 2009/71/Євратом, яка встановлює для Співтовариства основи з ядерної безпеки ядерних установок</p>	<p>Закон України “Про впорядкування питань, пов’язаних із забезпеченням ядерної безпеки” від 24 червня 2004 р. № 1868-IV.</p> <p>Закон України “Про дозвільну діяльність у сфері використання ядерної енергії” від 11 лютого 2010 р. № 1874-VI.</p> <p>Закон України “Про внесення змін до Закону України “Про використання ядерної енергії та радіаційну безпеку” щодо доповнення переліку ядерних установок” від 20 грудня 2011 р. № 4175-VI</p> <p>Закон України “Про поведження з відпрацьованим ядерним паливом щодо розміщення, проектування та будівництва централізованого сховища відпрацьованого ядерного палива реакторів типу ВВЕР вітчизняних атомних електростанцій” від 9 лютого 2015 р. № 4384-VI</p>
<b>Ринок природного газу</b>	
<p>Директива 98/30/ЄС Європейського Парламенту та Ради ЄС про єдині правила для внутрішнього ринку природного газу.</p> <p>Директива 2003/55/ЄС Європейського Парламенту та Ради ЄС стосовно спільних правил для внутрішнього ринку природного газу, яка скасовує Директиву 98/30/ЄС.</p> <p>Директива 2004/67/ЄС Європейського Парламенту та Ради ЄС про заходи із забезпечення безпеки постачання природного газу.</p> <p>Директива 2009/73/ЄС Європейського Парламенту та Ради ЄС про спільні правила внутрішнього ринку природного газу та про скасування Директиви 2003/55/ЄС</p>	<p>Закон України “Про нафту і газ” від 12 липня 2001 р. № 2665-III.</p> <p>Закон України “Про засади функціонування ринку природного газу” від 8 липня 2010 р. № 2467-VI.</p> <p>Закон України “Про ринок природного газу” від 9 квітня 2015 р. № 329-VIII</p>
<b>Ринок електричної енергії</b>	
<p>Директива 2003/54/ЄС Європейського Парламенту та Ради ЄС стосовно спільних правил для внутрішнього ринку електроенергії, яка скасовує Директиву 98/30/ЄС.</p> <p>Директива 2003/96/ЄС Європейського Парламенту та Ради ЄС про реструктуризацію системи оподаткування продуктів енергетики та електрики Співтовариства.</p> <p>Директива 2005/32/ЄС Європейського Парламенту та Ради ЄС про встановлення системи запровадження екологічних вимог до продуктів, що споживають енергію, та про внесення змін до Директиви Ради 92/42/ЄС та Директив 96/54/ЄС та 2000/55/ЄС.</p> <p>Директива 2005/89/ЄС Європейського Парламенту та Ради ЄС про заходи щодо забезпечення безпеки електропостачання та інфраструктурного інвестування.</p> <p>Директива 2009/72/ЄС Європейського Парламенту та Ради ЄС про спільні правила внутрішнього ринку електроенергії та про скасування Директиви 2003/54/ЄС.</p> <p>Директива 2010/30/ЄС Європейського Парламенту та Ради ЄС про вказування обсягів споживання енергії та інших ресурсів енергоспоживчими продуктами за допомогою маркування та стандартної інформації про товар</p>	<p>Закон України “Про електроенергетику” від 16 жовтня 1997 р. № 575/97-ВР.</p> <p>Закон України “Про внесення змін до Закону України “Про електроенергетику” від 22 червня 2000 р. № 1821-III.</p> <p>Закон України “Про засади функціонування ринку електричної енергії України” від 24 жовтня 2013 р. № 663-VI</p>
<b>Ринок теплової енергії</b>	
<p>Директива 2004/8/ЄС Європейського Парламенту та Ради ЄС про сприяння комбінованому виробництву теплової та електричної енергії на основі потреби у корисній теплоті на внутрішньому ринку енергетики та про внесення змін до Директиви 92/42/ЄС</p>	<p>Закон України “Про комбіноване виробництво теплової та електричної енергії (когенерацію) та використання скидного енергопотенціалу” від 5 квітня 2005 р. № 2509-IV.</p> <p>Закон України “Про теплопостачання” від 2 червня 2005 р. № 2633-IV</p>
<b>Ринок альтернативних джерел енергії</b>	
<p>Директива 2001/77/ЄС Європейського Парламенту та Ради ЄС про створення сприятливих умов продажу електроенергії, виробленої з відновлюваних енергоджерел, на внутрішньому ринку електричної енергії.</p> <p>Директива 2003/30/ЄС Європейського Парламенту та Ради ЄС щодо стимулювання виробництва біопалива та відновлювального палива на транспорті.</p> <p>Директива 2009/28/ЄС Європейського Парламенту та Ради ЄС про заохочення до використання енергії, виробленої з відновлюваних джерел та якою вносяться зміни до, а в подальшому скасовуються Директиви 2001/77/ЄС та 2003/30/ЄС</p>	<p>Закон України “Про альтернативні джерела енергії” від 20.02.2003 № 555-IV.</p> <p>Закон України “Про внесення змін до деяких законів України щодо встановлення “зеленого” тарифу” від 25 вересня 2008 р. № 601-VI.</p> <p>Закон України “Про внесення змін до деяких законів України щодо сприяння виробництву та використанню біологічних видів палива” від 21 травня 2009 р. № 1391-VI.</p> <p>Закон України “Про внесення змін до Закону України “Про електроенергетику” щодо стимулювання виробництва електроенергії з альтернативних джерел енергії” від 20 грудня 2012 р. № 5485-VI.</p> <p>Закон України “Про внесення змін до деяких законів України щодо забезпечення конкурентних умов виробництва електроенергії з альтернативних джерел енергії” від 04.червня 2015 р. № 514-VIII</p>

*Продовж. табл. 1.4*

Європейське законодавство	Українське законодавство
<b>Ринок ЖКГ</b>	
Директива 2002/91/ЄС Європейського Парламенту та Ради ЄС про енергетичну ефективність будівель. Директива 2006/32/ЄС Європейського Парламенту та Ради ЄС про ефективність кінцевого використання енергії та енергетичні послуги, а також про скасування Директиви 93/76/ЄЕС. Директива 2010/31/ЄС Європейського Парламенту та Ради ЄС щодо енергетичної ефективності будівель. Директива 2012/27/ЄС Європейського Парламенту та Ради ЄС про енергоефективність	Закон України “Про державне регулювання у сфері комунальних послуг” від 09 липня 2010 р. № 2479-VI. Закон України “Про забезпечення комерційного обліку природного газу” від 16 червня 2011 р. № 3533-VI. Закон України “Про запровадження нових інвестиційних можливостей, гарантування прав та законних інтересів суб’єктів підприємницької діяльності для проведення масштабної енергомодернізації” від 9 квітня 2015 р. № 327-VIII. Закон України “Про особливості здійснення права власності у багатоквартирному будинку” від 14 травня 2015 р. № 327-VIII. Закон України “Про особливості доступу до інформації у сферах постачання електричної енергії, природного газу, централізованого постачання гарячої води, централізованого питного водопостачання та водовідведення” від 10 грудня 2015 р. № 887-VIII

*Джерело: узагальнено авторами за даними [4; 7]*

Порядок імплементації Україною зобов’язань в рамках членства в Енергетичному Співтоваристві, в т. ч. шляхом внесення необхідних змін до законодавства України, визначено у розпорядженні Кабінету Міністрів України (КМУ) № 733-р від 03.08.2011 р. щодо Плану заходів про виконання Україною зобов’язань в рамках Договору про Енергетичне Співтовариство [4]. Одними з першочергових кроків в цьому напрямі стало прийняття законів України “Про засади функціонування ринку газу” та “Про засади функціонування ринку енергії”, а також постанови КМУ “Про невідкладні заходи щодо реформування системи управління Єдиною газотранспортною системою України”.

В рамках зобов’язань України щодо підвищення рівня енергоефективності та диверсифікації джерел постачання енергії:

- затверджено план заходів з імплементації Директиви Європарламенту та Ради 2009/28/ЄС про заохочення до використання енергії, виробленої з відновлюваних джерел енергії (розпорядження КМУ від 03.09.14 № 791);

- затверджено Національний план дій з відновлюваної енергетики на період до 2020 р. та план заходів з його реалізації (розпорядження КМУ від 01.10.14 № 902), спрямований, зокрема, на забезпечення виконання положень Директиви Європейського Парламенту та Ради 2009/29/ЄС від 23 квітня 2009 р. “Про заохочення до використання енергії, виробленої з відновлюваних джерел, та якою вносяться зміни до, а в подальшому скасовуються Директиви 2001/77/ЄС та 2003/30/ЄС”;

- схвалено плани імплементації Директиви 2006/32/ЄС Європейського Парламенту і Ради від 5 квітня 2006 р. про ефективність кінцевого використання енергії та енергетичні послуги; Директиви 2010/30/ЄС Європейського Парламенту і Ради від 19 травня 2010 р. про надання за допомогою маркування та стандартної інформації про товар обсягів споживання енергії та інших ресурсів енергоспоживчими продуктами; Директиви 2010/31/ЄС Європейського Парламенту і Ради від 19 травня 2010 р. щодо енергетичної ефективності будівель (розпорядження КМУ від 26.11.14 № 1150).

Прийнятий 9 квітня 2015 р. Закон України “Про ринок природного газу” закладає основи для лібералізації газового ринку і впровадження відповідних стандартів ЄС у даній сфері. Створення повноцінного та конкурентоздатного ринку природного газу в Україні сприятиме підвищенню ефективності прийняття управлінських рішень в енергетичній сфері, деполітизації ринку; підвищення привабливості господарської діяльності на ринку для його суб’єктів, створенню умов для довготривалого інвестування у галузь, зменшенню ризиків та залежності від монопольних зовнішніх постачальників природного газу, зміцненню енергетичної безпеки України та перспектив для якісно нової інтеграції українського ринку газу у ринок ЄС. Водночас, необхідно додатково прийняти ряд нормативно-правових актів, які мають забезпечити його імплементацію і узгоджуватися між собою. За оцінкою Енергетичного Співтовариства український ринок природного газу все-ще не є відкритим, а новий закон не містить, зокрема, положень про правила балансування ринку, порядок застосування штрафних санкцій у разі дисбалансу, а також мінімальних стандартів безпеки постачань та захисту споживачів.

На сьогодні Урядом схвалено 128 планів імплементації щодо впровадження у національне законодавство 183 актів права ЄС. Всього в рамках Угоди про асоціацію необхідно імплементувати понад 350 актів, у т.ч. близько 180 протягом 2014 – 2017 рр. [8].

Незважаючи на те, що енергоефективність беззаперечно є одним із пріоритетів енергетичної політики України, використання енергії залишається надмірним, а результативність впровадження заходів з енергоефективності, за міжнародними стандартами, залишається низькою. Обсяг енергії, що використовується для виробництва одиниці товарів і послуг (тобто на одиницю ВВП) в Україні

перевищують рівень: Великобританії – в 4,8 рази; Туреччини – у 3,8 рази; Польщі – у 3 рази; Білорусі – у 1,8 рази; середнього показника для Європейського Союзу – у 3,8 рази; для світу, в цілому, – у 2 рази [9].

Щодо запровадження ринкових механізмів в сфері ЖКГ, то вони переважно стосуються законопроектів, які удосконалюють діяльність ОСББ. Хоча галузі теплопостачання, водопостачання, газопостачання й електропостачання також потребують децентралізації та реформування. Насущним питанням для ЖКГ є заміщення викопних палив альтернативними джерелами енергії при виробництві теплової енергії, так як обсяг споживання природного газу підприємствами теплокомуненерго склав близько 8,6 млрд м<sup>3</sup> у 2014 р. та понад 6,9 млрд м<sup>3</sup> у 2015 р. [10]. Важливу роль в цьому процесі може зіграти біоенергетика, але серйозним бар'єром для входу біоенергетичних технологій до сфери комунальної теплоенергетики є відсутність конкурентного ринку теплової енергії.

Розвинені європейські країни (Швеція, Фінляндія, Німеччина, Австрія, Бельгія, Франція, Великобританія) вже створили конкурентний ринок теплової енергії, а решта країн ЄС рухаються в цьому напрямку. Практично у всіх країнах Євросоюзу в більшій чи меншій мірі проведено анбандлінг (юридичне розділення існуючих теплопостачальних компаній, принаймні, на дві незалежні компанії, одна з яких займається виробництвом теплової енергії, а друга – її транспортуванням та постачанням) в секторі теплової енергії та забезпечено умови для доступу незалежних виробників до теплових мереж [10].

У контексті імплементації Угоди про асоціацію між ЄС та Україною варто звернути увагу на існуючий досвід у сфері житлово-комунального господарства. Європейський підхід забезпечується чинними будівельними нормами, якими визначено обов'язковим встановлення будинкових приладів обліку споживання тепла, а також квартирних приладів обліку споживання електроенергії, холодної та гарячої води. Резервом підвищення енергоефективності житла, особливо в існуючому фонді, є створення умов для квартирної обліку споживання теплових ресурсів, що може значно підвищити мотивацію мешканців квартир до бережливого ставлення до експлуатації систем опалення.

Звичайно, реформування ЖКГ країн Євросоюзу відбулося завдяки розвитку економіки, за фінансової допомоги та за стандартами ЄС і досягло значних успіхів у результаті трансформації підприємств ЖКГ (реструктуризації, демонополізації, лібералізації ринку, приватизації), привнесення дієвих засобів управління (регулювання) та впровадження ринкових методів ціноутворення.

На сьогодні Україна рухається у напрямку підвищення енергоефективності, зокрема виконання своїх цільових показників, прийнятих в рамках Договору про Енергетичне Співтовариство. За рівнем споживання енергоносіїв на одиницю ВВП Україна перевищує середній рівень в країнах ЄС більш ніж двічі, тому потенціал для розвитку ефективного використання енергії в Україні є величезним. Значна частина потенціалу досі залишається невикористаною як на державному, так і на місцевому рівнях, що призводить до значних економічних втрат і в цілому негативно впливає на економіку держави.

Одною з основних перешкод для енергозбереження в Україні є те, що значна кількість необхідних первинних та вторинних законодавчих актів досі не прийнято, зокрема: Закон України "Про ефективне використання паливно-енергетичних ресурсів", Закон України "Про ринок електричної енергії України". Крім того, поліпшення координації між органами виконавчої влади, експертними організаціями та донорами є необхідною передумовою для подальшого прогресу у впровадженні програм та заходів з енергоефективності.

#### **1.4. Енергетична безпека України в умовах євроінтеграції: проблеми та перспективи**

© Завербний А. С.

*к.е.н., доцент, доцент кафедри зовнішньоекономічної та митної діяльності,  
Національний університет "Львівська політехніка", м. Львів, Україна*

За умов загострення світової економічної кризи а також значного поглиблення негативних процесів в економіці України, з огляду на необхідність удосконалення державної політики у сфері енергетики, енергоефективності, підвищення рівня конкурентоспроможності національної економіки (в т.ч. й її енергетичної сфери), зміцнення економічної та її складової – енергетичної безпеки України Радою національної безпеки і оборони України було прийнято рішення щодо забезпечення до кінця 2008 р. розроблення і впровадження системи менеджменту з енергозбереження (енергоменеджменту) та планування і організування робіт щодо формування енергетичного балансу України (з урахуванням досвіду Міжнародного енергетичного агентства (МЕА), яке формує енергетичні баланси країнам), передбачивши, зокрема проведення моніторингу індикаторів енергетичного балансу України. В світовому господарстві сьогодні спостерігаються досить важливі, чіткі тенденції, що стосуються енергетичного сектору. Перш за все це зростання рівня енергоспоживання при умовах обмеженості енергоресурсів, що призводить до зростання рівня конкуренції в даному секторі світової економіки, а



також до підвищення цін на основні види енергоресурсів. Якщо даний сценарій і надалі буде реалізовуватися, то зростання рівня цін відбуватиметься досить стрімко (як, наприклад, відбувалося до 2014 р. по відношенню рівня цін на нафту), що у свою чергу негативно відображається на більшості національних економік, оскільки призводить до зростання рівня інфляції та, відповідно зростання рівня цін на всі види продукції, зниження рівня життя населення тощо.

Ще однією важливою рисою змін, що відбуваються, є низький рівень залучення інвестиційних ресурсів у розвиток енергетичної галузі. Вимальовується також чітка тенденція забезпечення енергетичної безпеки шляхом диверсифікування первинних джерел енергії, зокрема, розроблення та впровадження інноваційних технологій щодо використання нових енергетичних джерел, таких як біоенергетичні продукти, енергія бактерій, вітрова та сонячна енергії і т.д. [9, с. 157 – 161]. Перспективним напрямком розвитку енергетичної системи, забезпечення енергетичної безпеки України виступає євроінтеграція даної сфери. Для нашої держави підписання Угоди про асоціацію з ЄС є визначальними і надзвичайно важливим кроком. Перш за все це сприятиме подальшому інтегруванню України у світовий економічний простір. Успішний процес інтегрування може бути забезпеченим лише шляхом позитивних зрушень, реформуванні структури національної економіки.

На початок 2018 р., спостерігається низький рівень виробничо-технологічних зв'язків із країнами ЄС. Основну структуру експорту складають сировина, продукція з досить низьким рівнем оброблення. На противагу ж цього до України імпортується з країн ЄС, як правило кінцева, готова продукція, яка володіє більш високою доданою вартістю. Тобто, для України важливим є не лише розширення доступу до ринків країн ЄС, але і потужне використання можливостей, згідно із Угодою, щодо подальшого реформування національної економіки, підвищення рівня її конкурентоспроможності, збільшити обсяги експорту українських високотехнологічних товарів. Ще одним важливим напрямком є забезпечення включення деяких видів діяльності української економіки у технологічні ланцюги промислового виробництва країн ЄС, з метою інтенсивного реалізування нових промислових стратегій, зокрема й енергетичних. Ще Угодою передбачається поглиблення співробітництва за рахунок залучення суб'єктів господарювання України до спільних науково-дослідних, комунікаційно-інформаційних проектів (передбачено розділами Угоди IV, V). А оскільки порівняно науково-технічний потенціал розвитку економіки нашої країни є високим, то можна прогнозувати потенційне середньострокове зростання українського експорту деяких видів високотехнологічних товарів, послуг [4, с. 3 – 4]. Доцільно зазначити основні історичні етапи підписання Угоди про Асоціацію України та Європейського Союзу. Для заміни Угоди про партнерство і співробітництво між Україною і Європейськими Співтовариствами та їх державами-членами [7] Угодою про асоціацію між Україною, з однієї сторони, та Європейським Союзом, Європейським співтовариством з атомної енергії і їхніми державами-членами, з іншої сторони [7] переговори між Україною та ЄС розпочалися ще у березні 2007 р. згідно із “Планом дій Україна-ЄС”. Вже у вересні 2008 р. на самміті у Франції було досягнуто домовленості про назву нової угоди (“Угода про асоціацію”). Далі протягом 2007 – 2012 рр. відбувся аж 21 раунд переговорів. Хоча 19 грудня 2011 р. на Самміті Україна – ЄС було оголошено завершення переговорів про асоціацію, але лише після Революції гідності 21 березня 2014 р. було підписано політичну частину, а 27 червня 2014 р. – її економічну частину. Тобто процес ратифікації був досить довготривалим (майже 10 років), 1 вересня 2017 р. Угода про асоціацію між Україною та ЄС у повному обсязі набула чинності. Завдяки підписанню економічної частини Угоди торгівля України з країнами ЄС становила у 2017 р. 41,1 % від загального обсягу зовнішньої торгівлі, за I півріччя 2017 р., порівнюючи з аналогічним періодом 2016 р., експорт з України товарів (послуг) в ЄС зріс на 22,8 % і склав 9,4 млрд дол. США [7].

Аналізуючи Угоду доцільно акцентувати увагу на 4 і 5 розділах, що стосуються співробітництва у сфері енергетики. В статтях 268 – 270 вказано ринкове ціноутворення на газу та електроенергію: “ціни на постачання газу та електроенергії для промислових споживачів визначаються виключно попиту та постачанням (пропозицією)”. Позитивним для енергетичного ринку України є ліквідування митних зборів, кількісних обмежень на імпорт/експорт енергетичних продуктів [7, с. 271]. Для інтегрування ринків енергетичних товарів Україна та ЄС, при стратегічному плануванні (попиту, пропозиції), формуванні енергетичної політики потрібно враховувати енергетичні мережі та можливості іншої сторони [7, с. 274].

З початку 2016 р. почали діяти всі основні економічні блоки Угоди: скасування (на початкових етапах просто зниження) тарифних мит на близько 95 % товарів; надання “тарифних квот”; симетричні норми недискримінації працівників на ринках один одного; наближення українського законодавства до норм європейського. Що стосується енергетичних реформ – застосування європейських норм про демонополізування енергетичних ринків, і реформування у багатьох важливих сферах: державних закупівель, антимонопольної політики, верховенства права, регіонального розвитку тощо. Насправді це не так. Про який напрямок “від верховенства права до регіонального розвитку” може йти мова, якщо Україна посіла “почесне” перше місце серед найбільш корумпованих країн світу.

Необхідним є функціонування відігравати регуляторний орган для електроенергії та газу, який є важливим для енергетичної політики країни. Даний орган, згідно із Угодою про асоціацію “повинен бути законодавчо відокремленим і функціонально незалежним від будь-якого державного чи приватного суб’єкта господарювання та достатньо вповноважений, щоб гарантувати ефективну конкуренцію і ефективне функціонування ринку”. Насправді цього так і не досягнуто. Основними проблемами, які стримують даний напрямок розвитку інтегрування, виступають корупційні та політичні. І тому “рішення та процедури, що використовуються регуляторним органом” аж ніяк не виступають “об’єктивними стосовно всіх учасників ринку” [7].

При цьому оператор, щодо якого будуть застосовані рішення регуляторного органу, обов’язково матиме право оскаржити дані рішення в апеляційній установі (при чому, вона має бути незалежною від зацікавлених сторін). Якщо ж дана апеляційна інституція не є судовим органом (за своїм характером), обов’язково має надаватися письмове обґрунтування даного рішення, її рішення підлягатимуть розгляду неупередженого, незалежного судового органу. Що ж стосується розбіжностей, що можуть виникати із затвердженими положеннями Договору про заснування Енергетичного Співтовариства у 2005 р., положеннями законодавства ЄС, то згідно розділу 4, Угода матиме переважну силу в межах можливих розбіжностей [7, с. 278]. Розділ 5 Угоди України про Асоціацію з ЄС присвячений енергетичній співпраці [7]. Найбільш пріоритетним напрямком розвитку електроенергетики України виступає процес євроінтеграції. Його початок припадає на 1.12.2005 р., коли був підписаний Меморандум між Україною та ЄС “Про порозуміння щодо співробітництва в енергетичній галузі”. У ньому сторони погодилися прикласти максимум зусиль для об’єднання української та європейської енергосистем.

У 2006 р. було ініційовано процес щодо розширення синхронної зони UCTE (тепер ENTSO-E) за рахунок приєднання ОЕС України. 15 грудня 2010 р. Верховною Радою України було ратифіковано Протокол “Про приєднання України до Договору про заснування Енергетичного Співтовариства” (з 1 лютого 2011 р. для України Договір набув чинності).

Проводилась робота щодо адаптування законодавства України до нормативно-правового поля ЄС (прийнято Закон України “Про засади функціонування ринку електроенергії України”). Метою прийняття даного Закону виступало лібералізування гуртового (в деяких джерелах зустрічається “русизм” – оптового) ринку електричної енергії України, створення вискоєфективного конкурентного середовища на даному ринку. В ньому були враховані вимоги законодавства ЄС, зокрема Директива ЄС № 2003/54/ЄС про загальні правила функціонування внутрішнього ринку електроенергії, Регламент № 1228/2003 (стосовно умов доступу до мережі транскордонної передачі електроенергії) [5; 1].

3 грудня 2013 р. розпочалася підготовка проектів актів законодавства для імплементації вимог Директив, що входять до Третього енергетичного пакету ЄС. Третій Енергопакет ЄС – це пакет законів що регулюють внутрішні ринки газу, електроенергії Європейського Союзу. Основною ціллю виступає відкритість газових, енергетичних ринків у ЄС та підвищення рівня конкуренції та рівня ефективності у сферах постачання, розподілення енергетичних ресурсів [6]. Його було запропоновано Європейською Комісією ще вереснем 2007 р., а проголосовано у Парламенті ЄС вже у липні 2009 р. Третій Енергопакет ЄС вступив у дію практично відразу ж (3 вересня 2009 р.). Основним елементом Третього Енергопакету є перш за все вимога відокремлення видобувних, збутових підрозділів від транспортних магістралей а також створення Національного Регулятора для кожної із країн-членів ЄС разом із Агентством взаємодії Енергетичних Регуляторів, що надаватиме форум для взаємодії даних регуляторів. В основі Третього енергопакету лежить принцип розділення, за яким кожній країні ЄС надається право вибору одного із трьох варіантів реформування розподільних мереж (рис. 1.2).

В Україні поступово були здійснені певні заходи спрямовані на адаптування вітчизняних технічних стандартів, нормативно-технічних документів відповідно із загальноприйнятими європейськими стандартами (нормами), такими як, Європейський комітет зі стандартизації, Європейський комітет стандартизації в електроенергетиці, Міжнародна Електротехнічна Комісія тощо. Розробляється, впроваджується Кодекс електричних мереж України.

Підкомітетом з питань енергетики, транспорту, ядерної безпеки та екології Комітету з питань співробітництва між Україною та ЄС, були виконані, опрацьовані міжнародні проекти: Міжнародна програма співпраці у сфері енергетики INOGATE; Договір до Енергетичної Хартії та Протокол до Енергетичної Хартії з питань енергетичної ефективності і суміжних екологічних аспектів, підготовлений в рамках Конференції з Європейської Енергетичної Хартії; Меморандум між Україною та Європейським Союзом про порозуміння щодо співробітництва в енергетичній галузі; Угода про асоціацію між Україною та ЄС, Порядок денного асоціації, проект Угоди про зону вільної торгівлі між Україною та ЄС; Ініціатива ЄС “Східне партнерство”, платформа № 3 “Енергетична безпека”; Програми співпраці України та Міжнародного енергетичного агентства тощо [5, с. 23].



Рис. 1.2. Рекомендовані ЄС способи реформування розподільних мереж

Джерело: узагальнено автором

В результаті підписання між Україною і ЄС Угоди про асоціацію було закріплено прийняті зобов'язання (в рамках Європейського енергетичного співтовариства) та визначено графік їх імплементації (зокрема європейських директив, які спрямовані на трансформування інституційного середовища на ринках електричної енергії, природного газу (це директиви Другого, Третього енергетичних пакетів), техніко-технологічної структури виробничих потужностей, енергетичного балансу вцілому (це директиви про стимулювання використання відновлювальних джерел енергії, рівень енергоефективності, обмеження викидів шкідливих речовин тощо).

Враховуючи недискримінаційний характер зобов'язань, необхідним є реалізування внутрішніх реформ України, що сприятиме стабілізуванню енергозабезпечення національної економіки, інтегруванню енергетичної галузі до європейських енергоринків. Основною проблемою реалізування міжнародних зобов'язань виступає їх фінансування. Однією із найвагоміших статей витрат виступають витрати на інфраструктурну перебудову з метою реалізування потенціалу енергоефективності (Національний план дій з енергоефективності до 2020 р. (НПДЕЕ), передбачений Директивою 2006/32/ЄС). Враховуючи один з найгірших показників рівня енергоефективності економіки України витрати необхідні для модернізування, придбання нового обладнання є значними.

За оцінюванням Інституту економіки та прогнозування НАНУ, інвестиційні витрати на реалізацію Національний план дій з енергоефективності мали становити понад 48,3 млрд євро (очікуваний рівень економії фінансових ресурсів кінцевих споживачів від скорочення споживання палива – 23,1 млрд євро) [4, с. 32]. Ключовим моментом виступає заміна побутового електрообладнання населенням, сферою послуг, де потенціал енергозбереження є найбільш економічно виправданим. Прогнозні витрати становитимуть до 2020 р. – 86 млрд євро [4, с. 32].

Однак, по-перше, середньорічні витрати одного домогосподарства в обсязі близько 450 євро, які є непосильними для 80 % населення, по-друге, вони значно перевищують рівень можливих втрат у результаті скасування субсидування та інших пільг, по-третє потенційна економія фінансових ресурсів внаслідок енергозбереження зможе компенсувати дані витрати тільки у довгостроковій перспективі, але аж ніяк до 2020 р. Тому доцільно стимулювати приватні інвестиції у енергозбереження за допомогою компенсаційних механізмів за участю держави (прикладом виступають кредитні програми на придбання енергозберігаючого обладнання та утеплення будівель державних банків України спільно з Державним агентством з енергоефективності та енергозбереження України, спрямовані).

Ще одним напрямком виконання поставлених зобов'язань виступає реалізування директив ЄС щодо стимулювання Україною використання відновлюваних джерел енергії. При цьому (згідно із розрахунками за проектом Державним агентством з енергоефективності та енергозбереження України та прогнозами Інституту економіки та прогнозування НАНУ) понад 80 % інвестицій повинна бути скерована на електро-комунальну енергетику, в транспортний сектор. Основними напрямками удосконалення та розвитку мають виступати будівництво установок із виробництва електроенергії

(великих, малих гідроелектростанцій, вітрових та сонячних електростанцій). Ще однією статтею витрат виступає фінансування проектів щодо виконання екологічних вимог до енергетичних об'єктів (зокрема електростанцій), розширення галузевої інфраструктури за рахунок збільшення обсягів споживання енергії тощо. За дослідженнями Study on the Need for Modernization of Large Combustion Plants in the Energy Community лишень для виконання Україною екологічних вимог необхідними є 5,1 млрд євро (Директива 2001/80/ЕС), 6 млрд євро (Директива 2010/75/EU). Дані цифри перевищують оцінювання витрат Міненерговугілля України аж на 3,2 млрд євро. Прогнозовані витрати на реалізування вказаних зобов'язань України, згідно із проведеними розрахунками Інституту економіки та прогнозування НАНУ, до 2020 р. становитимуть 14,4 млрд євро, а до 2030 р. – близько 100 млрд євро (табл. 1.5) [4, с. 33].

Таблиця 1.5

**Прогнозований рівень витрат на реалізування українських зобов'язань  
у сфері енергетики в рамках Угоди про асоціацію між Україною та ЄС, 2015 – 2030 рр.**

Показники	Прогнозні значення показників, млрд євро				
	2015 – 2020 рр.			2015 – 2030 рр.	
	Середньо-річні	Всього за період	Довідкові значення	Середньо-річні	Всього за період
Витрати на реалізацію інфраструктурних зобов'язань, у т.ч.:					
витрати на реалізування проектів з енергоефективності	14,4	100,7	110,7	7,4	73,7
витрати на реалізування проектів з відновлювальних джерел енергії	12,3	86,0	90,7 <sup>1)</sup>	2,6	25,5
інші витрати, в т.ч. на виконання екологічних вимог	0,9	6,0	8,1 <sup>2)</sup>	2,8	28,0
Прогнозований рівень економії фінансових ресурсів від скорочення споживання палива	1,2	8,7	11,9 <sup>3)</sup>	2,0	20,2
Прогнозована різниця між економією та витратами	3,3	23,1	15,6 <sup>4)</sup>	8,6	85,6
	- 11,1	- 77,6	-	1,2	12,1

<sup>1)</sup> за проектом Національного плану дій з енергоефективності до 2020 р. Держагентства з енергоефективності та енергозбереження України;

<sup>2)</sup> за оновленим варіантом Енергетичної стратегії України до 2030 р. (в стратегії до 2035 р. не вказано взагалі);

<sup>3)</sup> за дослідженнями Study on the Need for Modernization of Large Combustion Plants in the Energy Community;

<sup>4)</sup> за Проектом Національного плану дій з енергоефективності до 2020 р.

*Джерело: розраховано автором за даними [4, с. 33]*

Окрім того, згідно з Угодою про Асоціацію, продовжується членство України в Енергетичному співтоваристві, в якому було ухвалено кілька нових обов'язкових для України рішень щодо виконання Директив ЄС (вони не були включені до діючих міжнародних угод). Це директиви, регламенти Третього енергетичного пакету, окремих регламентів щодо статистики енергетики. Крім того, також розглядаються також питання щодо поширення на країни співтовариства дії нових євродиректив. Серед них – Директива з енергоефективності 2012/27/EU. Вона підсилює, деталізує вимоги до країн ЄС у галузі енергозбереження до 2030 р. Виконання цієї Директиви за умов теперішньої економіки є надзвичайно складним. Знову все впирається на суттєві збільшення витрат домогосподарств для підвищення їх рівня енергоефективності, прискорення модернізування, технологічного оновлення, за необхідності заміни виробничих фондів українських підприємств.

Оскільки інвестиційна складова вже прийнятих Україною міжнародних зобов'язань є досить суттєвою, потрібно виважено підходити до імплементації цих додаткових актів, зокрема шляхом координування енергетичної стратегії, енергетичної політики країни, прогнозуванням та розробленням сценаріїв розвитку, згідно з Угодою про асоціацію.

Реформування енергетичної сфери задля виконання взятих зобов'язань в межах прийнятої Угоди про асоціацію з ЄС зокрема шляхом імплементації європейських нормативів (директив та ін.), що спрямовані на трансформування інституційного середовища на енергетичних ринках України (ринках електричної енергії, природного газу тощо), техніко-технологічної структури українських виробничих потужностей, енергетичного балансу країни в цілому тощо, у коротко- і середньостроковій перспективі суттєво вплине на рівень цін на енергетичні ресурси. Причому зміни можуть бути як позитивними (зниження цін) так і негативними (зростання). Зниження цін можливе за наступних умов: підвищення рівня конкуренції між видобувними (генеруючими) та постачальними компаніями; усунення посередницьких ланок (таких як, ДП “Енергоринок”, НАК “Нафтогаз України”, тощо) при купівлі

електроенергії, природного газу тощо кінцевими кваліфікованими споживачами; підвищення рівня кваліфікованості кінцевих споживачів та можливостей вибору постачальників всіх видів енергоресурсів (демонополізація енергоринків); скасування прихованого (деколи і явного) перекресного субсидування окремих груп споживачів тощо.

Однак, досвід проведеного реформування з метою лібералізування енергетичного ринку країн колишнього союзу та Східної Європи, яке відбувається із випереджувальними Україною темпами, показує саме негативну тенденцію у короткостроковій перспективі [4, с. 35]. Як приклад, при впровадженні механізму двосторонніх договорів на ринках електроенергії країн колишнього союзу, спостерігалось стрімке зростання рівня цін на електроенергію для промислових споживачів [4, с. 34 – 35]. Основними факторами, що призвели до зростання ціни є наступні: непомірно високий рівень потреб інвестування в модернізування існуючих, створення нових генерувальних та передавальних потужностей (у зв'язку із моральним, технологічним застарінням діючих), зростання рівня цін на енергетичні ресурси, з яких виробляється електроенергія (газ, вугілля тощо), невідповідність між інституційними передумовами, що скеровані на розвиток конкуренції між генерувальними і постачальними енергетичними компаніями, реалізування можливостей абсолютно вільного вибору кращого за встановленими критеріями постачальника кінцевими споживачами, з одного боку, та реальним рівнем конкуренції на енергоринку – з іншого інфляційні процеси в країні тощо [3, с. 32 – 34].

Більшість з них є притаманними і для енергетики України, при чому деякі з них, зокрема фактор повної невідповідності між інституційними передумовами, які скеровані на розвиток конкуренції між генеруючими, постачальними енергетичними компаніями, реалізування можливостей абсолютно вільного вибору кращого за встановленими критеріями постачальника кінцевими споживачами, з одного боку, та реальним рівнем конкуренції на енергоринку – з іншого, залишається одним із вирішальних.

Аналогічна ситуація відбувалася у 2009 р. в Польщі. Протягом року в результаті впровадження Другого енергетичного пакету рівень ціни на електричну енергію для кінцевих споживачів зріс майже на третину – 32 % (24 % – для домогосподарств, 39 % – для промислових споживачів) [8].

В Україні, станом на 2018 р. (тобто, протягом трьох років після підписання угоди) спостерігається негативна тенденція – нарощування цін на енергоресурси як для промисловості, так і для домогосподарств. Абсолютно прогнозованим є те, що за умови неконкурентної структури українських ринків електроенергії, природного газу в короткостроковому та й середньостроковому періодах, відбуватиметься подальше прискорене зростання рівня цін на дані енергетичні ресурси. Додатковими чинниками здорожчання електроенергії також можуть виступити наступні: зростання заниженої ціни електроенергії АЕС України; інтенсивне інвестування процесів генерувальних, передавальних компаній щодо оновлення їх потужностей; екологічне модернізування теплової генерації України; інтенсивний розвиток відновлювальних джерел енергії (який потребує значних обсягів інвестування) тощо. Позитивним в реалізуванні зобов'язань виступають динаміки рівня цін та обсягів промислової продукції України. За прогнозами Інституту економіки та прогнозування НАНУ виконання зобов'язань згідно із Угодою в сфері підвищення рівня енергоефективності промислового сектора національної економіки призведе до збільшення рівня капіталомісткості продукції в середньому приблизно на 30 % [4, с. 35 – 36]. Але у свою чергу дані нововведення, інвестування сприятимуть збереженню конкурентних переваг українських товарів у довгостроковій перспективі, оскільки дозволять зменшити рівень інвестиційних потреб української промисловості протягом наступних 2021 – 2030 рр. більш ніж на 10 % та рівень енергомісткості промислової продукції (яка є однією з найвищих у Європі) на 19,5 %. Ефект від цих капвкладень буде довготривалим, адже у довгостроковій перспективі доцільно спрогнозувати скорочення рівня ресурсомісткості продукції, рівня її капіталомісткості тощо (табл. 1.6).

*Таблиця 1.6*

**Прогнозовані обсяги інвестицій та рівнів скорочення  
споживання енергії порівняно із базовим сценарієм, 2021 – 2030 рр.**

Галузі економіки	Прогнозовані значення змін, %	
	Обсяг фінансування	Економія енергоресурсів
Металургія	– 20,2	– 24,8
Хімічне виробництво	26,2	– 21,3
Інші галузі промисловості	1,2	– 4,1
Всього промисловість	– 10,2	– 19,5

*Джерело: [4, с. 37]*

Рівень економічного виграшу від проведення Україною політики енергоефективності в енергетиці, потрібно оцінювати на даний момент лише в макроекономічному ракурсі, а саме через вплив на зовнішньоторговельне сальдо, зростання рівня попиту на енергоефективне обладнання, конкурентоспроможність продукції, скорочення викидів тощо.

Одним з останніх, на виконання зобов'язань України за Договором про заснування Енергетичного Співтовариства, Угодою про асоціацію між Україною та ЄС 13 квітня 2017 р. було прийнято Закон України "Про ринок електричної енергії" від 13 квітня 2017 р. № 2019-VIII [2]. Закон спрямований на імплементацію законодавчих актів Енергетичного Співтовариства у сфері енергетики (Директива 2009/72/ЄС "Про спільні правила внутрішнього ринку електричної енергії та про скасування Директиви 2003/54/ЄС", Регламент ЄС 714/2009 щодо умов доступу до мережі транскордонного обміну електроенергією та скасування Регламенту (ЄС) 1228/2003, Директива 2005/89/ЄС про заходи для забезпечення безпеки інвестування до системи електропостачання та інфраструктури [2].

Одним із головних та першочергових завдань у системі управління енергетикою країни для її подальшого розвитку, підвищення рівня енергетичної безпеки виступає розроблення та реалізування політики повного забезпечення існуючих потреб України в паливно-енергетичних ресурсах за умов дотримання вимог їх раціонального використання, мінімізування негативного впливу на довкілля з урахуванням взятих Україною міжнародних природоохоронних зобов'язань, соціально-економічних пріоритетів, обмежень тощо.

Головними цілями енергетичної політики забезпечення енергетичної безпеки в Україні є:

- пріоритетність дотримання вимог екологічної, енергетичної, економічної безпеки;
- дотримання екологічних норм і стандартів (в тому числі й обов'язків взятих при ратифікуванні Україною міжнародних угод у сфері екології) охорони навколишнього природного середовища (довкілля) при використанні природних ресурсів;
- мінімізування техногенного впливу підприємств паливно-енергетичного комплексу України на навколишнє середовище, населення за рахунок підвищення рівня ефективності використання паливно-енергетичних ресурсів та енергозбереження;
- мінімізування викиду екологічно шкідливих речовин під час виробничих, видобувних процесів шляхом впровадження прогресивних технологій видобутку (виробництва), транспортування, використання паливно-енергетичних ресурсів в усіх галузях паливно-енергетичного комплексу України, ліквідування підприємств з неприйнятним рівнем екологічної безпеки, реалізування заходів превентивного характеру із охорони довкілля;
- мінімізування шкідливого впливу на навколишнє середовище за допомогою локалізування викидів, скидів тощо із подальшим їх нейтралізуванням, складуванням та утилізуванням;
- мінімізування та усунення, за можливості, небезпечних наслідків заподіяних екологічно небезпечних впливів підприємств паливно-енергетичного комплексу України на навколишнє середовище, населення тощо.

### **1.5. Енергетична концепція Сергія Подолинського у контексті розвитку низьковуглецевої економіки**

© **Іванов С. В.**

*д.е.н., професор, член-кореспондент Національної академії наук України, науковий директор,  
Міжнародний центр досліджень соціально-економічних проблем  
модернізації та розвитку кооперації, м. Полтава, Україна*

© **Перебийніс В. І.**

*д.е.н., професор, академік Академії економічних наук України,  
професор кафедри економіки підприємства та економічної кібернетики,  
Полтавський університет економіки і торгівлі, м. Полтава, Україна*

© **Гавриш В. І.**

*д.е.н., професор, завідувач кафедри тракторів та  
сільськогосподарських машин, експлуатації і технічного сервісу,  
Миколаївський національний аграрний університет, м. Миколаїв, Україна*

© **Перебийніс Ю. В.**

*викладач кафедри гуманітарних та соціально-економічних навчальних дисциплін,  
Полтавський юридичний інститут Національного юридичного університету  
ім. Ярослава Мудрого, м. Полтава, Україна*

Енергію прийнято називати царицею світу. Внаслідок існування закону збереження енергії категорія "енергія" пов'язує воедино усі явища природи. Фізичне збільшення обсягів використання енергії людством тривалий час було важливою передумовою економічного та науково-технічного прогресу. Протягом останніх двох століть в енергетиці відбуваються якісні зрушення, що супроводжуються чергуванням стрибків та еволюції: парова машина – двигун внутрішнього згорання – електродвигун. Це визначило зростання темпів заміни ручної праці машинною. Очевидно, що заощадження енергії ручної праці прямо залежить від рівня розвитку машинобудування та темпів зростання енергоозброєності праці.

Загальноісторичною тенденцією є відносне зниження використання безпосередньо доступного природного потенціалу, зокрема, вуглеводнів. Однак тип інноваційного розвитку, що орієнтується на постійне збільшення видобутку викопних енергетичних ресурсів, обмежений обсягами, доступністю і якістю їх запасів. Обмеження чи недоступність природних ресурсів, зокрема, вуглеводнів, перманентна світова енергетична та екологічні кризи кінця ХХ – початку ХІХ ст. зумовили об'єктивну необхідність переорієнтації матеріального виробництва на енергозберігаючий тип, перехід до парадигми низьковуглецевого розвитку. Зазначена проблематика розглядається в численних монографіях і статтях, обговорюється на наукових конференціях. Теоретико-методологічним і практичним аспектам низьковуглецевої економіки присвячено авторські публікації [3; 4; 9; 10; 18 – 21].

У цьому контексті привертає увагу енергетична концепція видатного мислителя ХІХ ст. Сергія Подолинського (1850 – 1891 рр.). Французький вчений Дебірре назвав Подолинського автором однієї з найновіших теорій термодинаміки. Відомий бельгійський дослідник, лауреат Нобелівської премії Ілля Пригожин зазначав, що концепція Подолинського надихнула його на власне відкриття.

Розвиваючи ідеї українського вченого, Володимир Вернадський, Костянтин Цюлковський та ін. створили вчення про ноосферу. Вернадський [1, с. 218; 2] зазначав, що енергетичну відмінність живого від мертвого можна знайти вже в працях засновників термодинаміки – у Р. Майєра, В. Томсона (лорда Кельвіна), Г. Гельмгольца, але сучасники цього не зрозуміли і не оцінили; дещо пізніше та самостійно С. Подолинський зрозумів усе значення цих ідей і намагався пристосувати їх до вивчення економічних явищ.

На переконання В. Шевчука [17], Подолинський сформував засади найважливішої економічної парадигми, фундаментальний характер якої полягає у відкритті джерела економічного буття та суспільного прогресу; він показав, що таким джерелом є сонячна енергія. Вчені [5; 8; 15; 16] Подолинського вважають засновником школи фізичної економії, фундатором енергетичного підходу до людського капіталу. Сучасні науковці визнають, що відкриття Подолинського є видатним для науки всього людства і називають його “законом Подолинського” [6]. На ідеях видатного мислителя ґрунтується навчальний посібник, підготовлений і виданий О. Кузнецовим та Б. Большаковим [7].

Сергій Подолинський народився в Київській губернії (тепер Черкаська область) у дворянській сім'ї. Він із відзнакою (золотою медаллю) закінчив природниче відділення фізико-математичного факультету Імператорського університету Святого Володимира (м. Київ), продовжив навчання на медичних факультетах Парижа і Цюриха. У м. Бреслау (нині Вроцлав, Польща) він працює у лабораторії Р. Гайденгайна, де у 1876 р. захищає докторську дисертацію з медицини.

Публікуватися С. Подолинський почав ще у 23 роки. Його перу належать статті про розвиток робітничого руху, питання здоров'я сільського населення, філософські та економічні праці. У 1877 р. він емігрує до Франції.

У 1880 р. журнал “Слово” друкує його працю “Труд человека и сохранение энергии” [13], яку також було видано у Франції, Італії, Німеччині. Його було обрано членом Французького товариства розвитку науки. У наші часи цю найголовнішу працю Подолинського було перевидано у Києві [12], Монреалі [11], Москві [14].

Вивчення наукової спадщини Подолинського дозволяє врахувати його підходи в напрацюванні енергетичної концепції, виходячи з парадигми низьковуглецевої економіки. З огляду на зазначене здійснена спроба проаналізувати погляди Подолинського на чотири проблеми (енергія, її рух і перетворення; органічне паливо та ефективність його використання; енергія як головний чинник рослинництва і тваринництва; праця людини як засіб накопичення енергії), розглянути їх актуальність для сучасних умов глобального розвитку.

Енергія, її рух і перетворення. Науковці свого часу вважали, що енергія становить суму всіх фізичних сил, що містяться у певній системі тіл, і може перебувати у формі семи різних фізичних сил: теплоти, світла, електрики, магнетизму, хімічної спорідненості, часткових сил і всесвітнього тяжіння. Спираючись на дослідження тогочасної науки, С. Подолинський [12, с. 204 – 205] звертав увагу на те, що повна енергія якоїсь системи, зокрема, всесвіту, є величиною абсолютно незмінною, а закон збереження енергії, по суті, являє собою не більше, ніж узагальнення давно відомого закону механіки.

Дослідник [12, с. 206] поділяє енергію на кінетичну і потенційну: у тих випадках, де маємо кінетичну енергію, рух безпосередньо доступний нашому відчуттю (наприклад, у воді, що тече, лавині, яка падає, паровій машині, що працює, снаряді, випущеному з гармати, у русі Місяця навколо Землі тощо). І навпаки, у потенційній енергії рух речовини, хоча й існує, ще не набрав форми, доступної нашому відчуттю, хоча й може набрати її за певних обставин. Лавина, що нависла над урвищем, парова машина, що вже нагріта, але ще не працює, заряджена гармата, їжа людини, ще не перетворена в м'язове скорочення при роботі, – ось приклади потенційної енергії.

Він пише, що планети і супутники одержують енергію від зірок (Сонця) і це з часом призведе до повсюдного вирівнювання енергії. Передача енергії супроводжується перетвореннями енергії одного роду в енергію іншого. Але не всі види енергії однаково легко перетворюються в інші. І щоразу, коли

відбувається таке перетворення, в енергії з'являється схильність переходити принаймні почасти від легко видозмінюваної форми (наприклад, руху) до форми, що видозмінюється з великими труднощами (наприклад, теплоти).

Отже, енергія всесвіту постійно переходить від легко перетворюваних форм до тривкіших, унаслідок чого можливість перетворень у ній постійно зменшується.

Посилаючись на У. Томсона, С. Подолинський робить висновок: у довгому проміжку сторіч вся енергія набуде форми, вже нездатної до перетворень, що буде складатися з теплоти, рівномірно поширеної по всьому всесвіту. У такому разі всяке життя і всякий рух, який ми відчуваємо, очевидно, повинні припинитися, оскільки відомо, що для перетворення теплоти в будь-яку іншу форму енергії необхідно мати тіла різної температури. Спрямованість світової енергії до повсюдного врівноваження вчений називає "розсіюванням енергії" [12, с. 207] (ентропією), а закон розповсюдження енергії таким же доведеним, як і закон її збереження.

Дослідник звертає увагу, що на нашій планеті джерелами енергії є енергія Сонця та власна енергія Землі, що поступово зменшується [12, с. 281]. Він аналізує використання людьми енергії обертання Землі навколо Сонця і навколо своєї осі шляхом застосування млинів, які використовують силу припливу. Людьми використовується і внутрішня теплота Землі (гарячі водні джерела) для опалення житла, приготування їжі. Важливим, на думку С. Подолинського, є господарське використання вітру, який, по суті, є не чим іншим, як наслідком прагнення до врівноваження температур.

Поза його увагою не залишилася сила водяних течій. Він [12, с. 212 – 214] зазначає, що вода, падаючи з висоти, наприклад, на колесо млина, забезпечує такий відсоток корисної роботи, якого не дає ні парова, ні електромагнітна машина, ні навіть більш вигідно влаштований організм робочої тварини чи людини. Тому не випадково дослідник [12, с. 269] визнає вітрові та водяні двигуни найкращими, оскільки вони вирізняються надзвичайно високим відсотком роботи, що забезпечується ними, бо енергія знаходиться в них уже в стадії вищої, перетворюваної енергії.

Увагу вченого привертає винахід "сонячної машини" – пристрою, що за допомогою спеціальних дзеркал, використовуючи сонячне проміння, підігріває воду і перетворює її на пару. Він вважає, що з погляду збереження енергії сонячна машина може бути найкращим механізмом із усіх винайдених на той час. Будь-яка робота, здійснена за її допомогою, становить включення зайвої кількості сонячної енергії в бюджет людства без одночасного розсіювання збереженої енергії, як це буває при роботі парової машини чи домашніх тварин. Його розрахунки [12, с. 273 – 274] свідчать про те, що яким б не було населення Землі, усі потреби в енергії цілком би задовольнялися, оскільки на кожну людину припадало б не менше однієї половини кінської сили збереженої сонячної енергії.

Дослідник приходять до висновку: сонячна енергія, яка одержується Землею, поступово зменшується. Очевидно, для того, щоб в умовах зменшення джерел енергії на земній поверхні і у найближчих шарах під нею могло відбуватися накопичення перетворюваної енергії, необхідно, щоб на земній поверхні відбувався процес збереження енергії, процес, обернений розсіюванню, або навіть процес перетворення стійкої енергії (теплоти) у вищу форму, більш перетворювану в механічний рух, потенційний чи кінетичний.

Вчений зазначає, що люди одержують на Землі енергію Сонця не в надто перетворюваному та й не занадто вже стійкому вигляді. Висока температура, світло, хімічні промені – все це такі види енергії, які, щоправда, із великою втратою на розсіювання, але все-таки частково перетворюються на земній поверхні в більш перетворювані, вищі види енергії, якими є механічна робота машини, скорочення м'язів і, напевно, психічна діяльність.

Науковець [12, с. 216 – 218] звертає увагу на значні труднощі переходу нижчих форм енергії у вищі. Він вказує на те, що відомі способи, за допомогою яких сонячна енергія може бути перетворена в механічний рух, є украй нечисленними, а запаси перетворюваної енергії в повітрі не збираються. Це відбувається через те, що в природі не існує резервуарів, які могли б самі собою наповнюватися "згущеним" повітрям, енергія якого споживалася б у міру потреби.

На думку вченого, хоча загальна кількість енергії, що одержується поверхнею Землі зсередини і від Сонця, поступово зменшується. У той же час загальна кількість енергії, накопиченої на земній поверхні, яка є в розпорядженні людства, поступово збільшується [12, с. 281]. Збільшення це відбувається під впливом праці людини і домашніх тварин.

Органічне паливо та ефективність його використання. Сергій Подолинський [12, с. 214, 225] зазначає, що джерелом утворення органічного палива (вугілля, нафти, торфу) є рослини, які в різні періоди покривали земну поверхню за допомогою енергії, що доставляється Сонцем. Енергія, збережена в кам'яному вугіллі, становить собою, по суті, лише заощаджене сонячне тепло.

Розглядаючи видобування кам'яного вугілля та торфу, вчений вказує, що енергія, що міститься в кам'яному вугіллі, перевищує щодо теплоти і роботи в 20 разів енергію, витрачену на її добування. Але він сумнівається, чи варто назвати добування і споживання кам'яного вугілля корисною працею,



чи це є розсіюванням енергії в просторі. Дослідник стурбований таким фактом: поклади кам'яного вугілля і торфу – це вже готові, накопичені запаси сонячної енергії, що при неощадливому добуванні часто занадто неощадливо споживаються, не приносячи ні під час опалення, ні під час роботи в машинах до усього того заощадження в енергії, яке вони могли б дати.

Вченого турбувала певна некоректність доточної методики підрахунку ефективності енерговикористання, адже кам'яне вугілля становить запас сонячної енергії, зібраної протягом значного періоду часу. Споживаючи вугілля у великій кількості, вводяться в бюджет прибутки старих років, які випадково зібралися, а розрахунок ведеться так, начебто людство справді зводить кінці з кінцями. Він вважає, що використання цього виду палива було б ефективним тільки тоді (“корисна праця”), коли б люди за допомогою тієї праці, що витрачається на видобування кам'яного вугілля, вміли фіксувати щорічно таку кількість сонячної енергії на земній поверхні, яка б дорівнювала енергії добутого вугілля [12, с. 262 – 263]. Дослідник помічав, як люди зі справедливим острахом дивляться на використання палива на таких засадах.

Вчений аналізує ефективність застосування техніки, вважаючи, що в ній головною складовою є не механічний інструмент (робоча машина), а двигун. Розглядаючи роботу парових двигунів та інших термічних машин, дослідник наводить такі дані: по-перше, економічний еквівалент майже всіх термічних машин значно нижчий за економічний еквівалент рухової сили води і повітря (не більший  $1/6 - 1/5$ ) [12, с. 269 – 270]; по-друге, їх справжній індустріальний еквівалент ще менший за теоретичний економічний еквівалент, бо здебільшого частина тепла, що одержується при згоранні палива, поглинається паровою машиною. На думку науковця, головною причиною неефективності парових машин є те, що при споживанні кам'яного вугілля втрати енергії завжди йдуть поруч зі збереженням. Саме це змушує із побоюванням дивитися на поширення парових машин.

Він вказує на згубний вплив парових машин у місцевостях, де немає кам'яного вугілля і шляхів сполучення для його підвезення (як це було в районах цукробурякової промисловості України). І ставить своїм сучасникам гостре запитання: чи є виробництво цукру за умови винищення лісів збереженням енергії, тобто корисною працею, чи це є швидше розсіюванням енергії в просторі, тобто безглуздим хижацтвом?

Тому не випадковим є такий висновок С. Подолинського: якщо парова машина не зовсім вигідна навіть тепер, то в якомусь віддаленому майбутньому діяльність її буде зовсім неефективною. Науковець розуміє, що людям на той час не можна було відмовитися від неї, бо їхні потреби зростали так швидко, що їм неможливо було усунути від їх задоволення з метою заощадження для майбутнього. До того ж свідомо чи несвідомо усі плекали в глибині душі надію, що в разі крайньої скрути з'явиться якийсь новий винахід, що все врятує або хоча б відтермінує біду на невизначений час.

Дослідник робить висновок: доки люди не винайдуть такого двигуна для своїх машин, який би забезпечував їх енергією на триваліших період без страху швидкого виснаження, доти всі розрахунки суми технічної роботи, що знаходяться в розпорядженні людства, повинні вважатися помилковими, оскільки запас енергії, завдяки якому триває ця робота, може згодом виснажитися. У той же час він [12, с. 263] певною мірою виправдовує ситуацію, зауважуючи, що потреба в кам'яному вугіллі є такою очевидною, а запаси його ще такими великими і можливість нових винаходів до їхнього виснаження такою ймовірною, що люди не можуть поводитися інакше, як дотепер поводитися, тобто намагаючись по можливості збільшити свій запас перетворюваної енергії завдяки видобуванню вугілля. Історія розвитку людства підтверджує ці думки видатного вченого.

Енергія як головний чинник функціонування рослинництва та тваринництва. Сергій Подолинський [12, с. 222, 254] приходять до висновку, що всі люди, які харчуються продуктами землеробства і скотарства, задовольняють свою потребу в їжі майже виключно за рахунок енергії Сонця, введеної в обмін на поверхні Землі працею людини, адже рослини здебільшого зберігають тільки сонячну енергію.

Оскільки рослини збільшили і продовжують збільшувати запас перетворюваної енергії на земній поверхні, то вчений зазначає, що рослини – найлютіші вороги світового розсіювання енергії. Фактично у рослинах відбувається робота щодо підняття частини сонячної енергії з нижчого щабля на вищий. Водночас енергія, збережена рослинами і накопичена всередині Землі, не служить сама по собі виробництву нової, вищої енергії [12, с. 224 – 225].

Дослідник звертає увагу на збільшення продуктивності поживного матеріалу, що містить запас перетворюваної енергії на земній поверхні з часу появи людства. Так, за його розрахунками, у Франції кожна тепла одиниця, застосована у вигляді праці людини чи коня для упорядкування штучної луки, виробляє надлишок нагромадження сонячного тепла, що дорівнює 41 тепловій одиниці, а на вирощуванні пшениці – 22 теплові одиниці [12, с. 228 – 229]. Він пояснює, що цей надлишок енергії одержується з праці людини і домашніх тварин.

Розглядаючи землеробство як сферу застосування людської праці, вчений зазначає, що коли людина докладає до неї свою працю, то продуктивність десятини землі зростає в десять, двадцять і більше разів. Ефективне землеробство являє собою найкраще застосування корисної праці, тобто роботи, що збільшує збереження сонячної енергії на земній поверхні [12, с. 236]. Дослідник характеризує функціонування землеробства з енергетичної точки зору. Зокрема, він розглядає готовий запас енергії у формі насіння та запас енергії у формі добрива як передумову того, що рослинне життя спроможне здійснити те значне збереження сонячної енергії, яке є безпосередньою метою землеробства.

Але, на думку вченого, всі наступні землеробські роботи, а також переробка продукції рослинництва не лише не зберігають перетворену енергію, не лише не збільшують її кількість, що знаходиться в обміні на земній поверхні, а, навпаки, розсіюють енергію, що нагромаджена в організмі людини. Проте всі ці витрати компенсуються при споживанні того запасу перетвореної енергії, що нагромадилася в продукції рослинництва.

Дослідник підраховував, що для повернення людині сповна всієї енергії, витраченої на землеробство, збереження сонячної енергії в продукції рослинництва має перевищувати у 20 разів кількість механічної роботи людини, витраченої у цій галузі сільського господарства. У землеробстві, як і в деяких інших галузях матеріального виробництва, є досить очевидним застосування закон збільшення енергії [12, с. 260 – 261], вважав науковець.

Розглядаючи тваринництво, вчений зазначає, що праця з розведення домашніх тварин сприяє переходові збереженої рослинами енергії у вищу форму. Незважаючи на те, що ця галузь сільського господарства не супроводжується збереженням нової, зайвої кількості сонячної енергії, роль кочового життя і скотарства в розвитку праці була надзвичайно сприятливою. Він [12, с. 235] мотивує це покращенням продовольчого забезпечення людини та збереженням часу для дозвілля і спостережень. Відомо, що частина енергії йде на харч тваринам. Всі тварини більшою чи меншою мірою перетворюють частину збереженої енергії у вищу її форму, у механічну роботу, однак зробивши її, тварини знову розсіюють енергію, збережену рослинами [12, с. 225 – 226].

Вивчаючи скотарство, дослідник відзначає, що головною метою утримання худоби є використання робочих домашніх тварин як засобу збільшення можливостей людини [12, с. 261]. На думку вченого, худобу доцільно використовувати як тяглову силу з трьох причин. По-перше, робочі тварини харчуються рослинною їжею, що здебільшого не потребує ніякого особливого приготування. По-друге, економічний еквівалент більшої частини робочих тварин вищий за економічний еквівалент людини. По-третє, механічна робота людини за своїм незначним розміром просто недостатня для здійснення всіх необхідних дій.

Однак, як вважає дослідник, вигоди при розподілі енергії, що одержують за допомогою роботи домашніх тварин, не можуть бути дуже великими вже тому, що економічний еквівалент робочої худоби невеликий. На підтвердження цієї тези він наводить дані, що одна година роботи парової кінської сили коштує при роботі парової машини 3 пенси, а при роботі коней – 5½ пенса, тобто майже вдвічі більше. Крім того, домашні тварини харчуються приблизно тими самими продуктами, що й людина, тобто земля, відведена під луківництво, могла б давати їжу й людині.

Зрозуміло, зазначає далі дослідник, якби метою скотарства було єдине бажання одержати більше механічної роботи, то величезна кількість роботи худоби була б згодом змінена машинами. Та позаяк утримання домашніх тварин відбувається заради іншої мети (для одержання м'яса, шкіри, вовни, добрив й ін.), то це питання не може бути вирішене так просто. Вчений [12, с. 266 – 267] зазначає, що при споживанні м'яса не можна уникнути тих утрат, яких не можна уникнути при переході збереженої рослинами енергії Сонця в м'ясо тварин, що слугують їжею людини, а також утрат, пов'язаних із її приготуванням.

Ведучи мову про енергію, яка зберігається рослинами і тваринами в матеріалах, що слугують для їжі і виготовлення одягу, дослідник констатує, що кількість цієї енергії обмежена і знаходиться в прямій залежності від якісних характеристик рослин, перебуває в залежності від кількості людської праці, докладеної до землеробства. І робить висновок: якщо обсяги механічної роботи постійно зростатимуть, то й обсяги рослинництва можуть постійно збільшуватися [12, с. 274 – 275].

Вчений звертає увагу на інший засіб збільшення поживних речовин у відношенні, пропорційному до застосованої механічної роботи: це безпосередній синтез речовин, що слугують людям їжею, з неорганічних елементів, які їх складають. Його підрахунки [12, с. 275] засвідчили, що синтетичне одержання поживних речовин за допомогою сонячної енергії дозволяє зберегти півтори кінських сил потужності двигуна на кожну людину. Науковець робить висновок, що застосування сонячної енергії в ролі безпосереднього двигуна і приготування поживних речовин із неорганічних матеріалів є головними питаннями, що стоять на черзі для продовження найвигіднішого накопичення енергії на землі [12, с. 282].

Праця людини як засіб накопичення енергії. Аналізуючи погляди Ф. Кене, А. Сміта, Ж. Сімонді, Д. Стюрта, Сергій Подолинський [12, с. 252] вказує, що метою праці є задоволення потреб.

Під потребою він розуміє усвідомлене прагнення до обміну енергії між організмом людини і зовнішньою природою. Дослідник підсумовує: праця є тим проявом енергії людського організму, за допомогою якого він добуває ту кількість енергії, якої без його втручання бракує в природі для обмінів, потрібних людині.

На думку Подолинського, праця – це таке споживання механічної і психічної роботи, нагромадженої в організмі, що призводить до збільшення кількості перетвореної енергії на земній поверхні. Збільшення її, зазначає він, може відбуватися двома шляхами: безпосередньо – через перетворення нової кількості сонячної енергії в більш перетворювану форму, або посередньо – через збереження від розсіювання, якого неможливо уникнути без втручання праці, певної кількості перетвореної енергії, що вже існує на земній поверхні. Дослідник [12, с. 229 – 230] доводить, що наведені ним випадки прояву механічної роботи в неорганічному світі (тобто вітри, водяні течії, припливи) без втручання людини при споживанні своєї механічної роботи ніколи не переводять сонячну енергію в більш перетворювану форму і ніколи не запобігають розсіюванню вищих форм енергії. Тільки в тому разі нагромаджена рослинами енергія йде на підняття нової кількості енергії на вищий щабель, коли запас цей входить до складу їжі робочої тварини чи людини або ж слугує паливом для машини.

Вчений вважає, що фізичну роботу не варто змішувати з корисною працею. Він вказує [12, с. 234]: дикун працював багато, але його робота майже не була корисною працею, тому що дикун дуже мало збільшував запас перетвореної енергії на земній поверхні. Навпаки, робітник, який керує паровим плугом або жнивarkою, зовсім мало напружує свої м'язи порівняно з корисністю своєї праці, у розумінні збільшення загального запасу енергії. Науковець зазначає, що продуктивність праці людини збільшується в міру зменшення її економічного еквівалента, із розвитком її потреб більша частина їх задовольняється працею. Продуктивність праці людини значно збільшується завдяки використанню цієї праці на перетворення нижчих видів енергії у вищі, наприклад, застосуванню робочої худоби, машин та інше [12, с. 281 – 282].

Подолинський, розглядаючи тіло людини, подане як термічну машину, підрахував, що економічний еквівалент людської машини (тобто величина відсотка тепла, перетвореного в механічну роботу) складає 1/5 [12, с. 238 – 239]. Зважаючи на те, що люди в середньому витрачають на їжу близько половини своїх прибутків, то житло, одяг, задоволення нематеріальних потреб складають разом іншу половину їхніх витрат.

Дослідник доходить висновку, що коли економічний еквівалент людського організму, розрахований за кількістю вживаної їжі чи вдихуваного кисню, дорівнює 1/5, то цей еквівалент слід знизити до 1/10, оскільки частину свого життя людина проводить непродуктивно, наприклад, у дитинстві, старості чи хворіючи і т. ін. [12, с. 246]. Підсумовуючи цю проблему, вчений констатує: людина володіє певним економічним еквівалентом, що зменшується в міру того, як потреби людини зростають [12, с. 281].

Аналізуючи різноманітні потреби людини, науковець доходить висновку, що кількість праці і зумовлене нею збільшення обміну енергії на земній поверхні повинні постійно зростати не лише тому, що кількість населення зростає, а також і тому, що енергетичний бюджет кожної людини збільшується. Сучасна людина повинна заощаджувати в десять разів більше, а в майбутньому, можливо, їй доведеться зберігати й у 12 – 15 разів більше [12, с. 255].

Подолинський застосовує такий термін, як “розкрадання енергії”, під яким розуміє явища, протилежні праці, всі дії людей, що призводять до зменшення цього бюджету, збільшення розсіювання енергії завдяки певним діями людей. Так, вважає дослідник, війна з усіма її атрибутами, тобто регулярними військами, військовими флотами, арсеналами й ін., – є не чим іншим, як розкраданням енергії, що є в розпорядженні людства. На його думку особливим видом розкрадання енергії є виробництво предметів розкоші й непродуктивне споживання [12, с. 276, 280].

Науковець стверджує, що вдосконалення людського життя має полягати головним чином у кількісному збільшенні енергетичного бюджету кожної людини, а не лише в якісному перетворенні нижчої енергії у вищу. Тож тільки суспільство з прагненням до швидкого нагромадження енергії може швидко йти вперед. Застій у цьому разі майже рівнозначний розсіюванню нагромадженої енергії, бо суспільне життя без розвитку втрачає всяку ціну і всякий сенс існування. Тому вчений [12, с. 281 – 282] вважає головною метою людства в праці повинно бути абсолютне збільшення енергетичного бюджету.

Отже, у своїй фундаментальній праці Сергій Подолинський звертає увагу на необхідність підвищення ефективності використання основних на той час видів палива – вугілля та деревини, адже заради одержання останнього нещадно вирубувалися ліси, що призводило до погіршення екологічної ситуації. Історія, на наш погляд, підтвердила доцільність реалізації більшості ідей Подолинського, зокрема, екобезпечного та економічно ефективного енерговиробництва шляхом використання енергії сонця, вітру, гідроресурсів малих рік, геотермальної енергії, відходів рослинництва і тваринництва, біопалива тощо, що складає основу сучасних уявлень про низьковуглецеву економіку.

### 1.6. Оцінка сучасного стану енергетичної безпеки у світі

© Лесюк А. С.

*здобувач наукового ступеня доктора філософії,  
Полтавська державна аграрна академія, м. Полтава, Україна*

Енергетична криза може загрожувати не тільки окремо взятій країні, або континенту, а і всьому людству в цілому. Найбільше занепокоєння в світовій спільноті викликають обмежені запаси природного газу та нафти, тому неефективне використання паливно-енергетичних ресурсів та високий рівень викидів CO<sub>2</sub> в атмосферу ставить під загрозу майбутнє всього людства. Питання енергетичної безпеки є актуальним для всіх країн світу незалежно від їх забезпечення енергетичними ресурсами. При цьому ступінь забезпечення ресурсами впливає на кількість завдань для енергетичної безпеки та їх важливість. Сучасний стан енергетичної безпеки в Україні є незадовільним, та характеризується великою кількістю загроз як зовнішніх так і внутрішніх. Енергетична політика України повинна бути спрямована на попередження, зменшення та ліквідацію цих загроз.

В наш час однією з важливих складових національної безпеки країни є енергетична безпека незалежно від того, чи розглядається вона в контексті країни-експортера або імпортера енергетичних ресурсів.

Поняття “енергетична безпека” немає однозначного тлумачення в науковій літературі. Це пов’язано насамперед з тим, що одні країни в світі виступають експортерами паливно-енергетичних ресурсів, а інші імпортерами. Для країн експортерів паливно-енергетичних ресурсів на головному місці є підтримання стабільного попиту на ресурси тому, що вони забезпечують значну частину їх державного бюджету, а для країн імпортерів на головному місці є зміна цін на паливно-енергетичні ресурси, яка впливає на платіжний баланс.

Узагальнюючи різні трактування науковців щодо поняття “енергетична безпека країни”, автором пропонується наступне визначення: “Енергетична безпека країни – це стан суспільно-економічних формувань країни, за якого забезпечується оптимальна система постачання паливно-енергетичних ресурсів та здатність до їх ефективного використання, що поєднує в собі диверсифікацію напрямів надходження ресурсів, створення їх резервів, розвиток власного паливно-енергетичного комплексу та регулятивний вплив у сфері ціноутворення”.

Розвиток світового енергетичного ринку та питання енергетичної безпеки країн світу мають пряму залежність від таких чинників (рис. 1.3).



Рис. 1.3. Чинники від яких залежить розвиток світового енергетичного ринку та енергетичної безпеки країн

*Джерело: авторська розробка*

У багатьох країнах світу відсутні внутрішні запаси викопних видів палива, або є тільки в незначній кількості тому, вони змушені імпортувати значні обсяги нафти, природного газу та інших енергоресурсів.

У світі запасів вугілля набагато більше, чим інших викопних видів палива (нафти, природного газу, урану). Доведених світових запасів вугілля, повинно вистачити на 112 років (для забезпечення світового виробництва), природного газу – 63,6 років, нафти – 54,2 років, урану – 85 років [8].

Оцінка запасів первинної енергії по регіонах світу (табл. 1.7).

Аналіз даних табл. 1.7 свідчить, що світові розвідані запаси природного газу в світі становлять – 193,5 трлн. м<sup>3</sup>. Найбільші поклади цього природного ресурсу знаходяться на Близькому Сході – 79,1 трлн. м<sup>3</sup> (40,9 % світових запасів), та в країнах СНД – 59,2 трлн. м<sup>3</sup> (30,6 %). Серед країн світу найбільші запаси природного газу залягають в Російській Федерації – 35 трлн. м<sup>3</sup> (18,1 % світових), Ірані – 33,2 трлн. м<sup>3</sup> (17,2 %), Катарі – 24,9 трлн. м<sup>3</sup> (12,9 %), Туркменістані – 19,5 трлн. м<sup>3</sup> (10,1 %).

Запаси нафти складають 239,3 тис. млн. т із яких 109,3 тис. млн. т (45,7 %) знаходяться на Близькому Сході. Значні запаси нафти знаходяться в таких країнах світу, як: Венесуела – 47,3 тис. млн. т (17,9 % світових запасів, а також найбільші поклади нафти серед всіх країн світу), Саудівській Аравії – 36,6 тис. млн. т (15,7 %), Ірані – 21,6 тис. млн. т (9,3 %).

Таблиця 1.7

Оцінка запасів первинної енергії по регіонах світу, 2017 р.

Регіони світу	Природний газ		Нафта		Вугілля	
	трлн. м <sup>3</sup>	Питома вага, у %	тис. млн. т	Питома вага, у %	млн. т	Питома вага, у %
Північна Америка	10,8	5,6	34,2	14,3	258709	25,0
Центральна Америка	8,2	4,2	51,2	21,4	14016	1,4
Європа	3,0	1,6	1,7	0,7	100405	9,7
СНД	59,2	30,6	19,7	8,2	223228	21,6
Близький Схід	79,1	40,9	109,3	45,7	14420	1,4
Африка	13,8	7,2	16,7	7,0		
Азіатсько-Тихоокеанський регіон	19,3	10,0	6,4	2,7	424234	41,0
Всього по регіонах світу	193,5	100,0	239,3	100,0	1035012	100,0

Джерело: розраховано автором за даними [6]

Світові запаси вугілля становлять – 1035012 млн. т, найбільші з яких сконцентровані в Азіатсько-Тихоокеанському регіоні – 424234 млн. т (41 % світових запасів), в Північній Америці – 258709 млн. т (25 %) та в країнах СНД – 223228 млн. т (21,6 %). Серед країн світу найбільші світові запаси вугілля зосереджені в США – 250916 млн. т (24,2 % світових запасів), Російській Федерації – 160364 млн. т (15,5 %), Австралії – 144818 млн. т (14 %), Китаї – 138819 млн. т (13,4 %).

Видобуток природного газу в світі у 2017 р. по регіонах світу в 2013 – 2017 рр. (рис. 1.4).

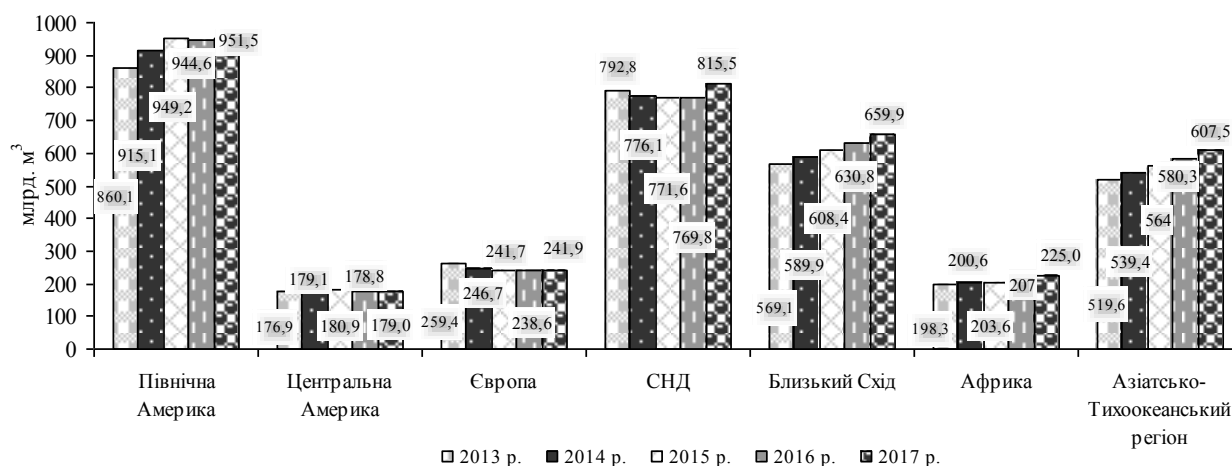


Рис. 1.4. Динаміка видобутку природного газу по регіонах світу, 2013 – 2017 рр., млрд. м<sup>3</sup>

Джерело: розраховано автором за даними [6]

За даними рис. 1.4 можна зазначити, що по всіх регіонах світу за 2013 – 2017 рр. відбулося збільшення видобутку природного газу на – 304,2 млрд. м<sup>3</sup> (9 %). Серед регіонів світу в структурі видобутку природного газу в 2017 р. найбільшу частку займала Північна Америка – 25,9 %, далі країни СНД – 22,2 %, Близький Схід – 17,9 %, Азіатсько-Тихоокеанський регіон – 16,5 %, Європа – 6,6 %, Африка – 6,1 % та Центральна Америка – 4,9 %.

Видобуток нафти за 2013 – 2017 рр. (рис. 1.5).

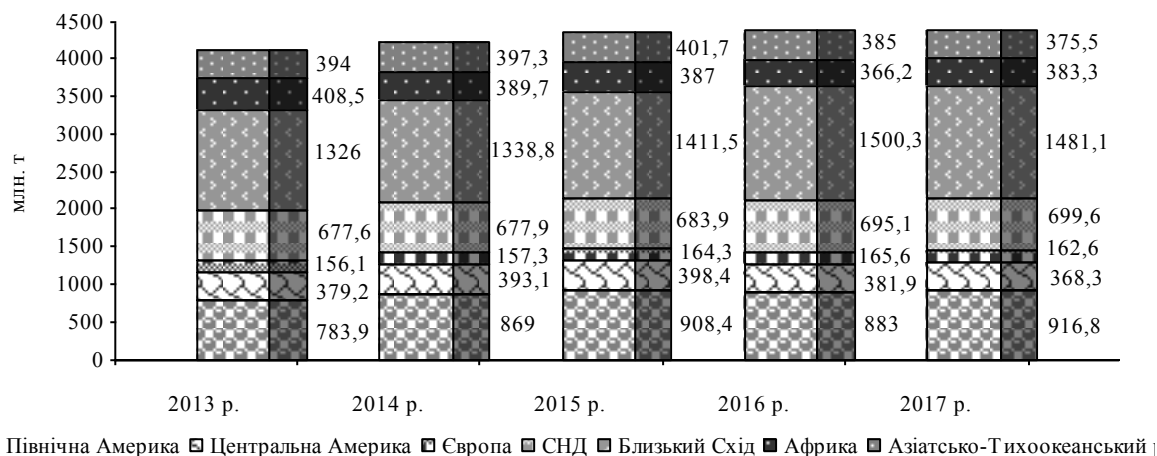


Рис. 1.5. Динаміка видобутку нафти по регіонах світу, 2013 – 2017 рр., млн. т

Джерело: розраховано автором за даними [6]

Дані рис. 1.5 свідчать, що видобуток нафти в світі за 2013 – 2017 рр. збільшився на – 261,8 млн. т н. е. (6,3 %). Найбільше за аналізований період збільшився видобуток нафти в Північній Америці на – 132,9 млн. т (17 %) та на Близькому Сході на – 155,1 млн. т (11,7 %).

Зменшення видобутку за останні 5 років відбулося в таких регіонах світу, як: Центральна Америка на – 10,9 млн. т (2,9 %), Африка – 25,2 млн. т (6,2 %) та в Азіатсько-Тихоокеанському регіоні – 18,5 млн. т (4,7 %).

Аналіз видобутку вугілля по регіонах світу за 2013 – 2017 рр. (рис. 1.6).

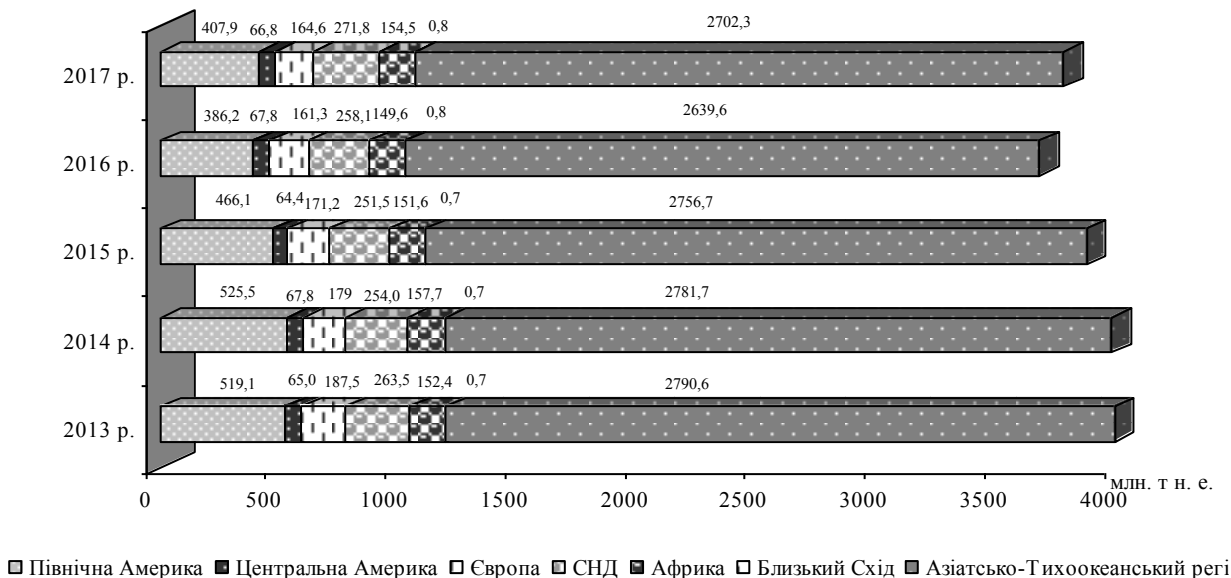


Рис. 1.6. Динаміка видобутку вугілля по регіонах світу, 2013 – 2017 рр., млн. т н. е.

Джерело: розраховано автором за даними [6]

Аналіз даних рис. 1.6. свідчить, що за аналізований період видобуток вугілля по регіонах світу зменшився на – 210,1 млн. т н. е. (5,3 %). Серед регіонів світу відбулося зниження видобутку вугілля в Північній Америці на – 111,2 млн. т н. е. (21,4 %), Європі – 22,9 млн. т н. е. (12,2 %) та в Азіатсько-Тихоокеанському регіоні – 88,3 млн. т н. е. (3,2 %).

Зростання видобутку вугілля за 2013 – 2017 рр. відбулося в Центральній Америці на – 1,8 млн. т н. е. (2,8 %), країнах СНД – 8,3 млн. т н. е. (3,1 %) на Близькому сході – 0,1 млн. т н. е. (14,3 %) та Африці – 2,1 млн. т н. е. (1,4 %).

Країни Європейського Союзу не мають достатніх запасів газу для задоволення власних енергетичних потреб, тому вони імпортують його задля задоволення попиту на власному енергетичному ринку.

Аналіз енергетичної залежності окремих країн світу та України від імпорту газу (рис. 1.7).

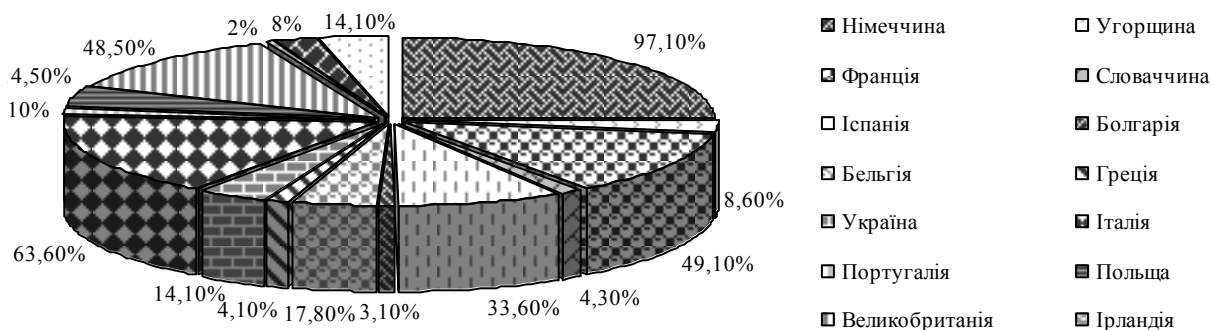


Рис. 1.7. Енергетична залежність окремих країн світу та України від імпорту газу, 2017 р., %

Джерело: розраховано автором за даними [5; 7]

Дані рис. 1.7 свідчать, що найбільшими імпортерами газу в країнах Європейського Союзу в 2017 р. були такі країни, як: Німеччина – 97,1 %, Італія – 63,6 %, Франція – 49,1 %, Великобританія – 48,5 %, Іспанія – 33,6 %. Україна відноситься до країн, які є частково забезпечені традиційними видами енергії, енергопостачання в Україні у 2017 р. забезпечувалося за рахунок імпорту газу на 14,1 %.

Структура споживання первинної енергії по регіонах світу (табл. 1.8).

Таблиця 1.8

Оцінка споживання первинної енергії по регіонах світу, 2017 рр., у млн. т н. е.

Регіони світу	Північна Америка	Питома вага, у %	Центральна Америка	Питома вага, у %	Європа	Питома вага, у %	СНД	Питома вага, у %	Близький Схід	Питома вага, у %	Африка	Питома вага, у %	Азіатсько-Тихоокеанський регіон	Питома вага, у %	Всього по регіонах світу	Питома вага, у %
Природний газ	810,7	29,2	149,1	21,3	457,2	23,2	494,1	50,5	461,3	51,4	121,9	27,1	661,8	11,5	3156,0	23,4
Нафта	1108,6	40,0	318,8	45,5	731,2	37,1	203,4	20,8	420,0	46,8	196,3	43,7	1643,4	28,6	4621,9	34,2
Вугілля	363,8	13,1	32,7	4,7	296,4	15,0	157,0	16,1	8,5	0,9	93,1	20,7	2780,0	48,4	3731,5	27,6
Ядерна енергія	216,1	7,8	5,0	0,7	192,5	9,8	65,9	6,7	1,6	0,2	3,6	0,8	111,7	1,9	596,4	4,4
Гідроелектроенергія	164,1	5,9	162,3	23,2	130,4	6,6	56,7	5,8	4,5	0,5	29,1	6,5	371,6	6,5	918,6	6,8
Відновлювані джерела енергії <sup>1)</sup>	109,5	3,9	32,6	4,7	161,8	8,2	0,9	0,1	1,4	0,2	5,5	1,2	175,1	3,0	486,8	3,6
Первинна енергія – всього	2772,8	100,0	700,5	100,0	1969,5	100,0	978	100,0	897,3	100,0	449,5	100,0	5743,6	100,0	13511,2	100,0

<sup>1)</sup> вітрова, геотермальна, сонячна, біомаса та відходи, без урахування транскордонних поставок електроенергії

Джерело: розраховано автором за даними [6]

Дані табл. 1.8, свідчить про те, що в світі найбільший обсяг споживання первинної енергії в 2017 р. припадав на нафту – 4621,9 млн. т н. е. (34,2 % серед всіх видів первинної енергії), вугілля – 3731,5 млн. т н. е. (27,6 %), природний газ – 3156 млн. т н. е. (23,4 %), а найменше на відновлювані джерела енергії 486,8 млн. т н. е. (3,6 %).

Найбільший обсяг споживання нафти серед регіонів світу в 2017 р. спостерігався в Азіатсько-Тихоокеанському регіоні – 1643,4 млн. т н. е. (36,8 % від загального обсягу споживання серед інших видів первинної енергії в регіоні) та Північній Америці – 1108,6 млн. т н. е. (40 %).

Серед країн світу найбільше споживання нафти спостерігалось в США 913,3 млн. т н. е. (19,8 % від загального обсягу споживання країн світу нафти), Китай – 608,4 млн. т н. е. (13,2 %), Індія – 222,1 млн. т н. е. (4,8 %) та Японія – 188,3 млн. т н. е. (4,1 %).

Найбільший обсяг споживання природного газу серед регіонів світу припадає на Північну Америку – 810,7 млн. т н. е. (29,2 % від загального обсягу споживання серед інших видів первинної енергії в регіоні) та Азіатсько-Тихоокеанський регіон – 661,8 млн. т н. е. (11,5 %).

Серед країн світу найбільше споживання природного газу спостерігалось в США – 635,8 млн. т н. е. (20,1 % від загального обсягу споживання країн світу природного газу), Російській Федерації – 365,2 млн. т н. е. (11,6 %), Китаї – 206,7 млн. т н. е. (6,6 %), Ірані – 184,4 млн. т н. е. (5,8 %) та Японії – 100,7 млн. т н. е. (3,2 %).

Найбільший обсяг споживання первинної енергії з відновлювальних джерел енергії спостерігався в Азіатсько-Тихоокеанському регіоні – 175,1 млн. т н. е. (3 % від загального обсягу споживання серед інших видів первинної енергії в регіоні), Європі – 161,8 млн. т н. е. (8,2 %) та Північній Америці – 109,5 млн. т н. е. (3,9 %).

Серед країн світу найбільше споживання енергії, виробленої з відновлюваних джерел спостерігалось в Китаї – 106,7 млн. т н. е. (21,9 % від загального обсягу споживання країн світу енергії, виробленої з відновлюваних джерел), США – 94,8 млн. т н. е. (19,5 %), Німеччині – 44,8 млн. т н. е. (9,2 %), Японії – 22,4 млн. т н. е. (4,6 %), Бразилії – 22,2 млн. т н. е. (4,6 %), Індії – 21,8 млн. т н. е. (4,5 %) та Великій Британії – 21 млн. т н. е. (4,3 %).

Чинники, які безпосередньо впливають та визначають рівень споживання паливно-енергетичних ресурсів (рис. 1.8).

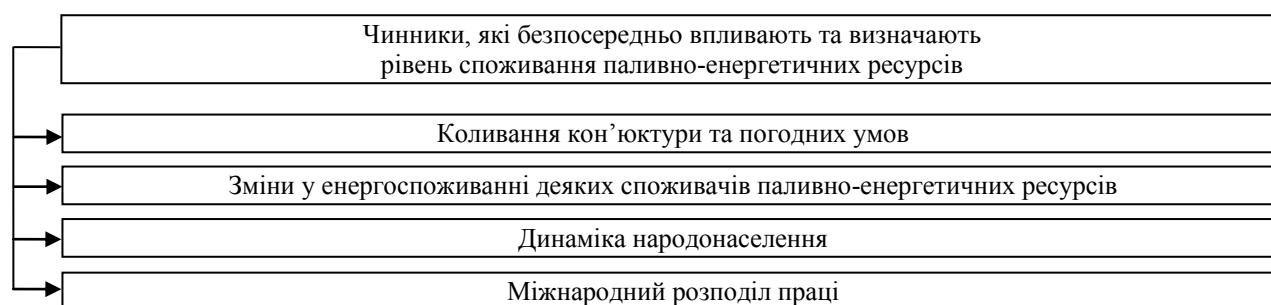


Рис. 1.8. Чинники впливу на попит та пропозицію паливно-енергетичних ресурсів

Джерело: авторська розробка

Отже, зростання споживання викопних видів палива (природний газ, вугілля, нафта) та їх вичерпання, викликає необхідність приділення уваги можливостям використання відновлюючих джерел енергії. Країни світу суттєво відрізняються за показником енергетичної безпеки тому, що мають різні запаси і обсяги видобутку паливно-енергетичних ресурсів. У багатьох країнах світу відсутні внутрішні запаси первинних енергоресурсів, або є в незначній кількості тому, вони змушені імпортувати значні обсяги сирової нафти, природного газу та інших енергоресурсів.

### 1.7. Оцінка сучасного стану паливно-енергетичного комплексу та енергетичної безпеки України

© Лесюк А. С.

*здобувач наукового ступеня доктора філософії,  
Полтавська державна аграрна академія, м. Полтава, Україна*

Національна економіка України базується на потужному паливно-енергетичному комплексі, але в наш час він знаходиться в кризовому стані. Головними причинами є висока енергоємність ВВП і залежність від імпорту паливно-енергетичних ресурсів.

Паливно-енергетичний комплекс України є найважливішою складовою економічного зростання країни, а запорукою розвитку національної економіки є його стабільне функціонування.

Україна належить до країн світу, які мають запаси всіх видів первинної енергії (рис. 1.9), однак ступінь забезпечення запасами, їх видобуток та використання різні, і тому не створюють необхідний рівень енергетичної безпеки.



Рис. 1.9. Запаси первинних енергоресурсів в Україні, 2017 р.

*Джерело: узагальнено автором*

Основою паливно-енергетичного комплексу є вугільна промисловість. Доведені запаси станом на початок 2018 р. оцінюються в 34375 млн. т (3,3 % світових запасів) [6]. Україна за розвіданими запасами вугілля займає 7 місце у світі. Відсутність значних запасів природного газу та нафти, економічні й політичні причини з імпортом, дозволяють розглядати вугілля, як енергетичний носій, запасів якого повинно вистачити понад 300 років. А розвиток та впровадження технологій перетворення вугілля у теплову і електричну енергію дозволить комплексно видобувати і переробляти вугільні пласти на місцях їх залягання та отримувати енергію (теплову, електричну) і хімічні продукти.

Газова промисловість є однією із ключових галузей паливно-енергетичного комплексу України. Доведені запаси природного газу станом на початок 2018 р. становлять 1,1 трлн. м<sup>3</sup> (0,5 % світових запасів) [6].



Україна має унікальну розвинуту газотранспортну систему, яка включає 39,8 тис. км газопроводів, у т. ч. близько 23 тис. км магістральних (з яких 14 тис. км діаметром 1020 – 1420 мм) та 16,8 тис. км – газопроводи-відгалуження. Роботу системи забезпечують 74 компресорні станції загальною потужністю 5,5 тис. МВт. До складу системи входять 1,5 тис. газорозподільних станцій та вісім газовимірювальних станцій на виході з України. Невід’ємною частиною газотранспортної системи є система підземних сховищ газу, що складається з тринадцяти сховищ загальною активною місткістю понад 32 млрд. м<sup>3</sup>. Максимально можливий відбір при повному заповненні підземних сховищ газу може досягти 250 млн. м<sup>3</sup> за добу. Загальна пропускна спроможність газотранспортної системи України становить на вході – майже 288 млрд. м<sup>3</sup> на рік, а на виході – 178,5 млрд. м<sup>3</sup> на рік, у т. ч. близько 142 млрд. м<sup>3</sup> на рік – у напрямку країн Європи [2].

Нафтогазотранспортна система України є важливим сполучним елементом нафтогазового комплексу, який забезпечує транспортування нафти на нафтопереробні заводи і транзитні поставки до країн Східної та Центральної Європи. Система магістральних нафтопроводів включає в себе 19 нафтопроводів діаметром до 1220 мм включно загальною довжиною понад 4,767 тис. км в одну нитку, 51 нафтоперекачувальну станцію і Морський нафтовий термінал “Південний”, резервуарні парки загальною ємністю 1083 тис. м<sup>3</sup>, системи електропостачання, захисту від корозії, телемеханіки, технологічного зв’язку, протипожежні та протиерозійні споруди. Пропускна здатність системи магістральних нафтопроводів: на вході – 114 млн. т/рік, на виході – 56,3 млн. т/рік. Технічні можливості системи магістральних нафтопроводів дозволяють у повному обсязі забезпечити транзит нафти до європейських споживачів та потреби нафтопереробних заводів в Україні, виходячи з їх максимального проектного завантаження [2].

Основою електроенергетики країни є Об’єднана енергетична система України, яка здійснює централізоване забезпечення електроенергією внутрішніх споживачів, взаємодіє з енергосистемами суміжних країн, забезпечує експорт та імпорт електроенергії. Магістральні електричні мережі України нараховують 22,9 тис. км, з них 4,9 тис. км припадає на мережі з напругою 400 – 800 кВ, 13,3 тис. км – напругою 330 кВ, 4,1 тис. км – напругою 220 кВ і 0,7 тис. км – напругою 35 – 110 кВ, а також 136 підстанцій загальною трансформаторною потужністю 78631,6 МВА. Розподільчі електричні мережі нараховують близько 1 млн. км повітряних і кабельних ліній електропередач напругою 0,4 – 150 кВ і близько 200 тис. трансформаторних підстанцій напругою 6 – 150 кВ [2].

Оцінка видобутку газу, нафти з газовим конденсатом, виробництва нафтопродуктів, видобутку вугілля та виробництва електроенергії в Україні наведена у табл. 1.9.

*Таблиця 1.9*

**Оцінка видобутку газу, нафти з газовим конденсатом, виробництва нафтопродуктів, видобутку вугілля та виробництва електроенергії в Україні, 2013 – 2017 рр.**

Показники	Роки					2017 р. до 2013 р. (+, -)	2017 р. у % до 2013 р.
	2013	2014 <sup>1)</sup>	2015 <sup>1)</sup>	2016 <sup>1)</sup>	2017 <sup>1)</sup>		
<b>Газ, млн. м<sup>3</sup></b>							
Видобуток газу	20998,2	20170,0	19896,0	19987,0	20800,0	- 198,2	99,1
у т. ч. НАК “Нафтогаз України”	18663,2	16855,0	16032,0	15900,0	16300,0	- 2363,2	87,3
<b>Нафта, тис. т</b>							
Видобуток нафти з газовим конденсатом	3050,9	2728,9	2461,7	2236,6	2098,2	- 952,7	68,8
у т. ч. НАК “Нафтогаз України”	2746,8	2421,1	2181,8	2000,4	1847,0	- 899,8	67,2
Виробництво нафтопродуктів:	2514,3	1533,1	341,2	324,2	265,2	- 2249,1	10,5
– бензину	963,6	586,8	177,3	156,3	133,8	- 829,8	13,9
– дизельного пального	950,6	566,1	108,7	116,8	97,4	- 853,2	10,2
– мазуту	600,1	380,2	55,2	51,1	34,0	- 566,1	5,7
<b>Вугілля, тис. т</b>							
Видобуток вугілля:	83697,5	64995,3	39744,7	40864,1	34916,1	- 48781,4	41,7
у т. ч. коксівного	23724,5	16139,3	8325,1	8361,4	6807,3	- 16917,2	28,7
– енергетичного	59973,0	48856,0	31419,6	32502,7	28108,8	- 31864,2	46,9
<b>Електроенергія, млн. кВт·г</b>							
Виробництво електроенергії	193564,4	181944,7	157634,8	154817,4	155414,4	- 38150	80,3

<sup>1)</sup> без урахування тимчасово окупованої території Автономної Республіки Крим і м. Севастополя та частини тимчасово окупованих територій у Донецькій та Луганській областях

*Джерело: розраховано автором за даними [4]*

Аналіз даних табл. 1.9 свідчить, що у 2017 р. порівняно з 2013 р. видобуток газу в Україні зменшився на 198,2 млн. м<sup>3</sup> (0,9 %), у тому числі відбулося зменшення видобутку газу НАК “Нафтогаз України” на 2363,2 млн. м<sup>3</sup> (12,7 %), це пов’язано з поступовим виснаженням запасів родовищ високої якості, збільшенням частки запасів більш низької якості та з меншим потенціалом витягу, низькими темпами геологорозвідувальних робіт нових запасів газу.

Видобуток газу НАК “Нафтогаз України” у 2013 р. становив 88,9 % (загального видобутку в Україні), а іншими компаніями 11,1 %, а у 2017 р. видобуток газу НАК “Нафтогаз України” становив 78,4 % (загального видобутку в Україні), а іншими компаніями 21,6 %, тобто частка видобутку газу іншими компаніями за аналізований період зросла на 10,5 в. п. Харківська та Полтавська область забезпечує 90 % (найбільшу частку) видобутку природного газу на території України.

Видобуток нафти з газовим конденсатом за аналізований період мав тенденцію до зниження, основною причиною цього є високий рівень виснаженості більшості нафтогазових родовищ. Так, видобуток нафти з газовим конденсатом зменшився з 3050,9 тис. т, а у 2013 р. до 2098,2 тис. т у 2017 р., тобто на 952,7 тис. т, що становить 31,2 %.

Видобуток нафти з газовим конденсатом НАК “Нафтогаз України” у 2013 р. становив 90 % (загального видобутку в Україні), а іншими компаніями 10 %, а у 2017 р. видобуток газу НАК “Нафтогаз України” становив 88 % (загального видобутку в Україні), а іншими компаніями 12 %, тобто частка видобутку газу іншими компаніями за аналізований період зросла на 2 в. п.

За 2013 – 2017 рр. також спостерігається тенденція зменшення виробництва нафтопродуктів, а саме: бензину, дизельного пального та мазуту. Так, за аналізований період виробництво бензину зменшилося на 829,8 тис. т (86,1 %), дизельного пального на 853,2 тис. т (89,8 %) та мазуту на 566,1 тис. т (94,3 %). Це пов’язано з зниженням видобутку нафти в Україні внаслідок виснаження свердловин та відсутністю розвідки нових запасів, а також із тим, що Кременчуцький нафтопереробний завод та газопереробний Шебелинський завод технічно не можуть виробляти достатню кількість бензину, дизельного пального, мазуту для задоволення попиту на внутрішньому ринку України.

У 2017 р. вугледобувними підприємствами України видобуто вугілля на 48781,4 тис. т (58,3 %) менше порівняно з 2013 р. В тому числі видобуток енергетичного вугілля зменшився на 31864,2 тис. т (53,1 %), коксівного – зменшився на 16917,2 тис. т (71,3 %), це пов’язано з військовими діями в Донецькій та Луганській областях та пошкодженням шахтного фонду. У зазначених областях видобувалася значна кількість вугілля близько 50 %, у тому числі майже 100 % антрацит (на даний час на непідконтрольній території Донецької та Луганської областей).

У 2017 р. обсяг виробництва електричної енергії електростанціями, які входять до Об’єднаної енергетичної системи України, досяг 155414,4 млн. кВт-год., що на 38150 млн. кВт-год. (19,7 %) менше порівняно з 2013 р., це пов’язано із зниженням її експорту, а також незначним зменшенням її внутрішнього споживання на – 28337,3 млн. кВт-год. (19,2 %).

Оцінка енергоспоживання газу, нафтопродуктів, вугілля, електроенергії та енергії від відновлюваних джерел в Україні за 2013 – 2017 рр. (табл. 1.10).

Таблиця 1.10

**Оцінка енергоспоживання газу, нафтопродуктів, вугілля,  
електроенергії та енергії від відновлюваних джерел в Україні, 2013 – 2017 рр.**

Показники	Роки					2017 р. до 2013 р. (+, -)	2017 р. у % до 2013 р.
	2013	2014 <sup>1)</sup>	2015 <sup>1)</sup>	2016 <sup>1)</sup>	2017 <sup>1)</sup>		
Газ, млн. м <sup>3</sup>	50357,6	42465,0	33727,0	32361,0	32200,0	- 18157,6	63,9
Нафтопродукти:	10123,7	8561,3	8263,2	7537,2	7560,6	- 2563,1	74,7
бензин, тис. т	3984,9	3165,5	2957,4	2174,4	1989,9	- 1995	49,9
дизельне пальне, тис. т	5947,3	5259,4	5184,1	4634,3	4982,4	- 964,9	83,8
мазут, тис. т	191,5	136,4	121,7	728,5	588,3	396,8	307,2
Вугілля, тис. т	37641,9	31562,1	28637,6	31338,6	24811,3	- 12830,6	65,9
Електроенергія, млн. кВт-год.	147264,4	134653,0	118726,9	118258,0	118927,1	- 28337,3	80,8
Загальне енергоспоживання на основі відновлюваних джерел:	3166	2797	2700	3616	3964	798	125,2
гідроенергетика, тис. т н. е.	1187	729	464	660	769	- 418	64,8
енергія біопалива та відходи, тис. т н. е.	1875	1934	2102	2832	3046	1171	162,5
вітрова та сонячна енергія, тис. т н. е.	104	134	134	124	149	45	143,3

<sup>1)</sup> без урахування тимчасово окупованої території Автономної Республіки Крим і м. Севастополя та частини тимчасово окупованих територій у Донецькій та Луганській областях

*Джерело: розраховано автором за даними [1; 4]*

Як свідчать дані табл. 1.10, за аналізований період відбулося зниження енергоспоживання в Україні за рахунок зменшення використання газу на 18157,6 млн. м<sup>3</sup> (36,1 %), нафтопродуктів на 2563,1 тис. т (25,3 %), вугілля на 12830,6 тис. т (34,1 %), електроенергії на 28337,3 млн. кВт-год. (19,2 %). У 2017 р. порівняно з 2013 р. відбулося зростання енергоспоживання на основі відновлюваних джерел на 798 тис. т н. е. (25,2 %), зокрема збільшення енергії біопалива та відходів на 1171 тис. т н. е. (62,5 %) та вітрової та сонячної енергії на 45 тис. т н. е. (43,3 %).

Сучасний стан енергетичної безпеки України характеризується залежністю від імпорту паливно-енергетичних ресурсів (табл. 1.11).

Таблиця 1.11

Оцінка імпорту первинної енергії в Україну, 2013 – 2017 рр., тис. т н. е.

Первинна енергія	Роки					2017 р. до 2013 р. (+, -)	2017 р. у % до 2013 р.
	2013	2014 <sup>1)</sup>	2015 <sup>1)</sup>	2016 <sup>1)</sup>	2017 <sup>1)</sup>		
Природний газ	22589	15720	13288	8809	11262	- 11327	49,9
Сира нафта	849	193	238	527	1331	482	156,8
Нафтопродукти	7258	8117	7887	9155	9671	2413	133,2
Вугілля й торф	9022	10374	9940	10617	12993	3971	144,0
Біопаливо та відходи	1	25	30	38	-	x	x
Електроенергія	3	8	193	7	4	1	133,3
Всього	39722	34437	31575	29152	35261	- 4461	88,8

<sup>1)</sup> без урахування тимчасово окупованої території Автономної Республіки Крим і м. Севастополя та частини тимчасово окупованих територій у Донецькій та Луганській областях

Джерело: розраховано автором за даними [1]

Аналіз даних табл. 1.11 свідчить про те, що за 2013 – 2017 рр. відбулося зниження імпорту первинної енергії на 4461 тис. т н. е. (11,2 %). Так, імпорт природного газу зменшився на 11327 тис. т н. е. (50,1 %), це пов'язано з тим, що за аналізований період в Україні скоротилося енергоспоживання природного газу, і відповідно стало основною причиною зниження імпорту. Україна протягом 2013 – 2016 рр. нарощувала імпорт біопалива та відходів з 1 тис. т н. е. у 2013 р. до 38 тис. т н. е. у 2016 р. У зв'язку з нарощенням виробництва біопалива та відходів з 1923 тис. т н. е. у 2013 р. до 3618 тис. т н. е. у 2017 р. тобто на 88,1 %, Україна припинила імпорт біопалива та відходів.

По всіх інших видах первинної енергії відбулося зростання імпорту, зокрема: сирової нафти на – 482 тис. т н. е. (56,8 %), нафтопродуктів на 2413 тис. т н. е. (33,2 %), вугілля й торфу на 3971 тис. т н. е. (44 %), та електроенергії на 1 тис. т н. е. (33,3 %). Це пов'язано з тим, що Україна виробляє недостатню кількість сирової нафти, нафтопродуктів, вугілля й торфу, та електроенергії для задоволення потреб споживачів на внутрішньому ринку, також слід зауважити, що за 2013 – 2017 рр. спостерігалася негативна динаміка зниження виробництва згаданих видів первинної енергії.

Україна займає важливу позицію на міжнародному енергетичному ринку, оскільки через неї проходять основні транзитні потоки між Європою та Азією, вона являється ключовою транзитною ділянкою для експорту російської нафти та природного газу в країни Європи, і є споживачем енергетичних ресурсів. Транзит газу через Україну в 2017 р. становив 93,5 млрд. м<sup>3</sup> це на 26,1 млрд. м<sup>3</sup> або на 21,8 % менше порівняно з 2008 р. (рис. 1.10).

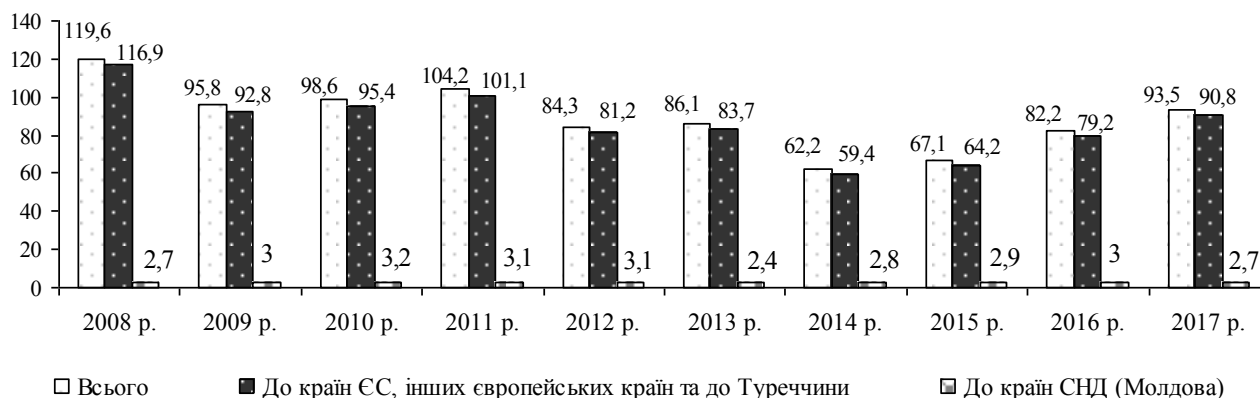


Рис. 1.10. Транзит газу через Україну, 2008 – 2017 рр., млрд. м<sup>3</sup>

Джерело: розраховано автором за даними [4]

Отже, скорочення обсягів транзиту відбулося внаслідок зниження енергоспоживання в країнах Європейського Союзу та інших європейських країнах та запуском газопроводу Північний потік в обхід території України.

Обсяги транзиту газу через Україну з 2009 – 2017 рр. були меншими, ніж мінімальні контрактні обсяги – 110 млрд. м<sup>3</sup>, відповідно до підписаного контракту між ВАТ “Газпром” і НАК “Нафтогаз України” про постачання природного газу та його транзит на період з 2009 – 2019 рр.

Проведемо оцінку обсягів трубопровідного транспортування нафти в Україні за 2008 – 2017 рр. (рис. 1.11).

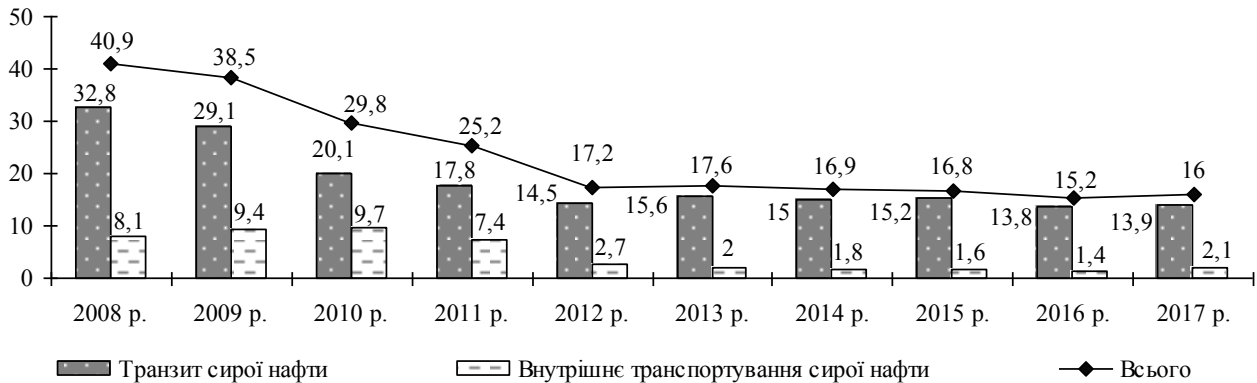


Рис. 1.11. Оцінка обсягів трубопровідного транспортування нафти в Україні, млн т/рік  
Джерело: розраховано автором за даними [4]

Аналіз даних рис. 1.11 свідчить про те, що транзит сирої нафти в Україні за 2008 – 2017 рр. зменшився на – 18,9 млн. т/рік (57,6 %), це пов’язано в основному із введенням у експлуатацію Російською Федерацією 2-го маршруту Балтійського нафтопроводу.

З 2001 – 2017 рр. спостерігається тенденція до зниження транзиту сирої нафти з 48,6 млн т/рік у 2001 р. до 13,9 млн т/рік у 2017 р., тобто на – 34,7 млн т/рік, після введення в експлуатацію 1-го маршруту Балтійського нафтопроводу та обхідного нафтопроводу до Новоросійська – це є частиною її гео економічної стратегії. Внутрішнє транспортування сирої нафти за 2013 – 2017 рр. зменшилося з 8,1 млн т/рік у 2013 р. до 2,1 млн т/рік у 2017 р., тобто на – 6 млн т/рік (74,1 %), основною причиною цього є те, що на сьогоднішній день в Україні не працюють нафтопереробні заводи, зокрема: Дрогобицький, Надвірнянський, Одеський, Лисичанський та Херсонський, у зв’язку з цим внутрішній ринок нафтопродуктів у повній мірі не може забезпечити задоволення попиту на нафтопродукти на українському ринку, і відповідно з кожним роком спостерігається тенденція до зростання частки імпорту нафтопродуктів.

Загрози енергетичної безпеки – це сукупність внутрішніх та зовнішніх чинників, зумовлених економічними, військово-політичними та соціальними явищами, що можуть дестабілізувати нормальне енергопостачання галузей національної економіки (рис. 1.12).

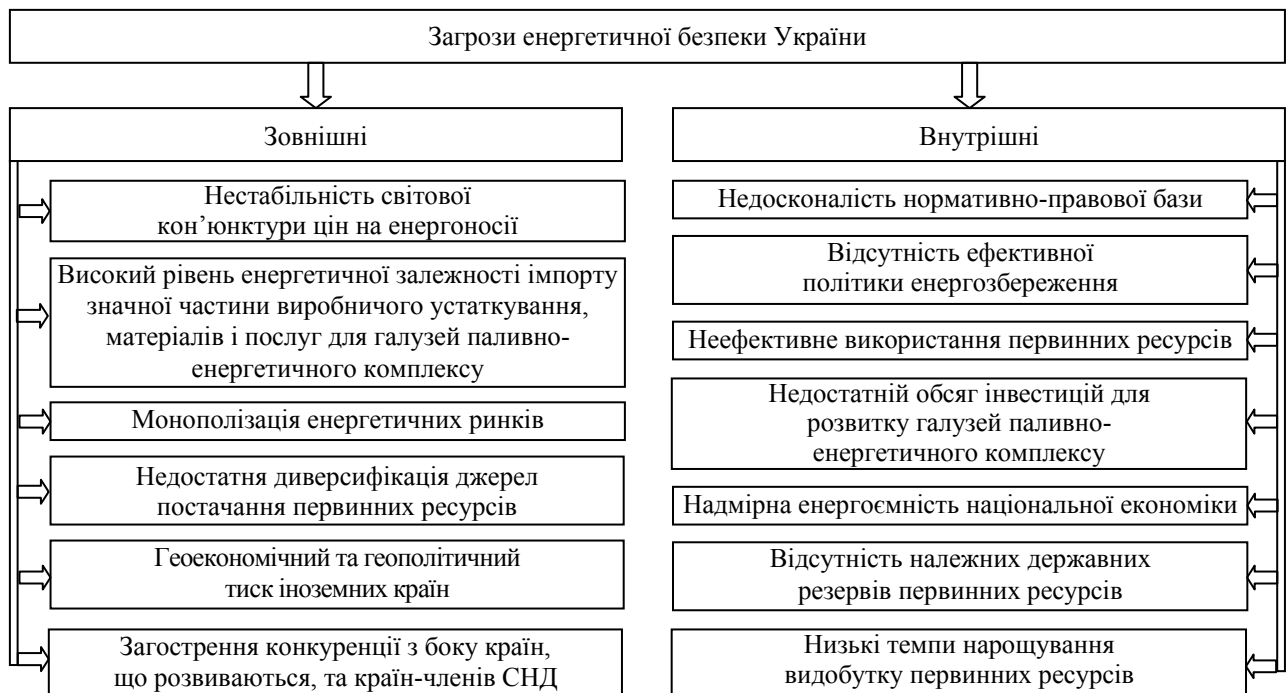


Рис. 1.12. Зовнішні та внутрішні загрози енергетичної безпеки України  
Джерело: авторська розробка [3, с. 4]

Отже, успішна державна політика в сфері забезпечення енергетичної безпеки залежить від ефективної системи заходів протидії загрозам у сфері енергетики. Україна має передумови для того, щоб паливно-енергетичний комплекс розвивався та був надійним фундаментом для стійкого розвитку національної економіки. Україна займає важливе місце на міжнародному енергетичному ринку, оскільки через неї проходять основні транзитні потоки між Європою та Азією. Національна економіка України є енергетично залежною від постачань паливно-енергетичних ресурсів, як наслідок, це несе в собі економічну та енергетичну небезпеку.

### **1.8. Оцінки кластерних ініціатив в контексті забезпечення енергетичної безпеки соціально-економічних систем**

© Миколюк О. А.

*к.е.н., доцент, докторант, Хмельницький національний університет, м. Хмельницький, Україна*

У сучасних умовах глобалізації та посилення ролі міжнародної конкуренції зростає залежність економічного розвитку України від спроможності її регіональних одиниць забезпечувати належний рівень конкурентоспроможності як на мікро-, мезо- так і на макрорівні. Пожвавлення темпів науково-технічного прогресу та інноваційних процесів вимагають сучасних ефективних підходів до соціально-економічного розвитку України. Одним із значних поштовхів до трансформації та виходу на новий рівень економічного та соціального зростання, забезпечення на світовому ринку конкурентних переваг та перспектив для подальшого розвитку є кластеризація.

Досвід зарубіжних країн показує, що кластерні об'єднання є однією з найефективніших форм організації енергоефективних процесів, форм регіонального розвитку, за якої на ринку конкурують не окремі підприємства, а цілі комплекси, які зменшують свої витрати завдяки спільній технологічній кооперації компаній. В свою чергу, в межах кластерної структури вирішуються завдання збільшення обсягів виробництва, повного завантаження виробничих потужностей; виконання заходів з матеріалота енергозбереження, зниження втрат ресурсів, підвищення енергоефективності та якості продукції; заміна застарілого обладнання, що в результаті є основою забезпечення належного рівня безпеки учасників кластерних утворень, в тому числі і енергетичної.

Пошук шляхів, ефективних засобів та механізмів підвищення конкурентоспроможності підприємств у складі регіональних кластерів сприятимуть зміцненню економічної незалежності, створенню умов для сталого економічного зростання національної економіки.

Мета дослідження полягає у формуванні оцінки форми галузевої взаємодії, що посилює позиції кожного окремого підприємства та є одним із шляхів виходу економіки з кризи, що дозволить забезпечити високі темпи економічного зростання соціально-економічних систем в контексті досягнення належного рівня енергетичної безпеки.

Головна ідея кластеризації полягає в об'єднанні зусиль учасників кластерного процесу навколо спільної ідеї для отримання економічного ефекту, нарощування науково-технічного, виробничого та економічного потенціалу, випуску конкурентоспроможної продукції. Учасники кластера отримують мікроекономічну конкурентоспроможність, що забезпечує їм певні конкурентні переваги, можливість збільшувати свій виробничий потенціал, розробляти та впроваджувати інноваційні ідеї, підвищувати прибутковість своєї діяльності. Конкурентоспроможність кластера як виробничої системи суттєво збільшується порівняно з групою аналогічних підприємств, організацій, інституцій, яким не притаманні відпрацьовані економічні відносини, технологічні та інформаційно-комунікаційні зв'язки. На сьогодні кластер розглядається як комплекс, сформований на основі територіальної концентрації підприємств-постачальників, виробників та споживачів суміжних галузей, які відзначаються ефективною взаємодією та взаємодоповнюють один одного.

М. Войнаренко зазначає, що для створення кластерів необхідно п'ять умов, так званих "п'ять Г": ініціатива, інновація, інформація, інтеграція та інтерес. Кластери можуть об'єднувати підприємства та установи як окремих регіонів, так і різних країн для підвищення ефективності їх діяльності, зростання продуктивності праці та якості продукції, стимулювання конкуренції та інновації, залучення інвестицій, сприяння формуванню нових підприємств, враховуючи їх вигідне географічне положення [7].

Досвід світової практики щодо утворення кластерів показує, що більш успішно розвиваються регіони, на території яких сформовані та функціонують кластери. Позитивні сторони діяльності кластерного утворення, що включатиме енергоефективну політику ведення виробничої діяльності,

доводять їх можливості протистояти загрозам зовнішнього середовища (рис. 1.13), що пояснюється синергетичним ефектом результатів діяльності учасників кластера; зростанням рівня їх конкурентоспроможності та здоровій конкурентній боротьбі; реалізації комплексної політики енергозбереження шляхом впровадження сучасних енергоефективних технологій; можливостям протидіяти тіншовій економіці; мати стійкий супротив можливим рейдерським атакам, а також отриманням додаткових умов для інвестиційного та інноваційного розвитку.

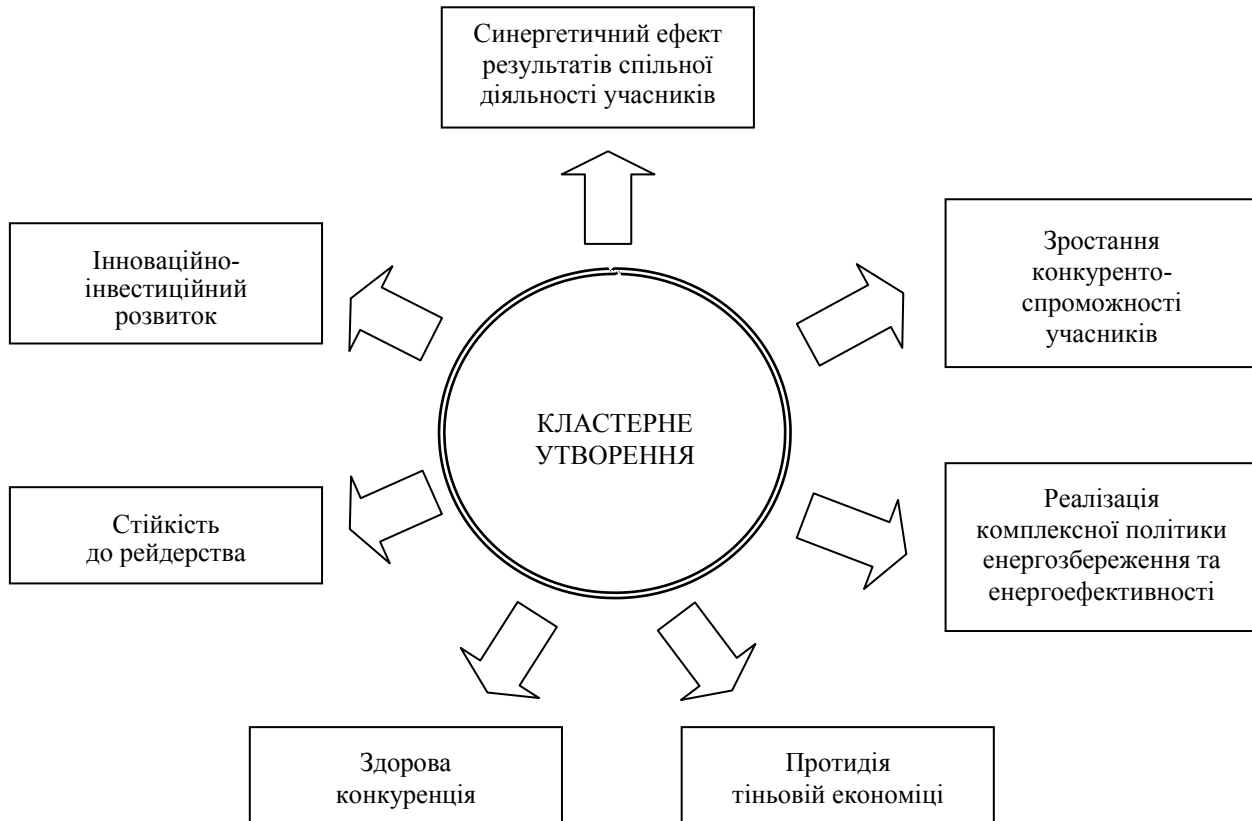


Рис. 1.13. Переваги діяльності кластерного утворення

*Джерело: авторська розробка*

На основі проведення аналізу ряду наукових робіт [1 – 7], виявлено необхідні передумови для формування ефективно функціонуючого кластера, а саме наявність: потенційних учасників кластера, зокрема взаємозв'язаних виробничих підприємств певної галузі; науково-дослідної установи, що сприятиме розробленню нових товарів та послуг; висококваліфікованих кадрів та навчальних закладів для підвищення кваліфікації; центру кластера, на базі якого можуть бути розроблені і реалізовані у промисловому масштабі інноваційні ідеї та проекти; стійкого попиту на інноваційну продукцію кластера; сталого розвитку регіону, спрямованого на реалізацію інноваційних програм і проектів; регіональної стратегії розвитку, що включає заходи з підтримки формування та функціонування кластерів з боку місцевої влади.

Окрім цього, кластери можуть об'єднувати різну кількість підприємств, а також формуватися з великих та малих фірм у різних поєднаннях і співвідношеннях. До них доцільно віднести: географічну концентрацію компаній, що працюють у певному напрямку бізнесу; конгломерацію великих та малих фірм, частина з яких є власністю іноземців. Кластери виникають у традиційних базових галузях, високотехнологічних напрямках, виробничо-комерційному секторі і у сфері послуг. Нерідко центром формування є університет чи група науково-дослідних структур.

Зауважимо, що в Україні у деяких галузях працюють кластери, які уже мають постійних постачальників і клієнтів. Зокрема, у таких містах як: Хмельницький (одяг, будівельні матеріали, зелений туризм), Івано-Франківськ (туризм, декоративний текстиль), Черкаси (транспортні перевезення), Житомир (добування та перероблення каменю), Одеса (виробництво вина), Харків (машинобудування), Рівне (деревообробка).

Щодо Хмельницького регіону, то слід сказати, що він має всі необхідні можливості щодо процесів кластеризації. Актуальності набуває створення енергетичних кластерів на базі промислових

підприємств регіону. Це пояснюється тим, що економіка Хмельницької області належить до паливо-дефіцитних регіонів України. Особливо гостро стоїть проблема ефективного використання енергоресурсів промисловими підприємствами.

Аналіз споживання енергетичних ресурсів промисловими підприємствами Хмельницької області у 2011 – 2015 рр. хоч і показує, що в останні три роки простежується стійка динаміка до зменшення обсягів їх споживання, проте така тенденція відбувається не через збільшення ефективності використання енергоносіїв, а пов'язана із зниженням обсягів виробництва деяких груп товарів машинобудівної галузі та згортанням масштабності промисловості у цілому.

Зміни у використанні енергетичних ресурсів підприємствами промислової галузі Хмельницької області відображено у табл. 1.12.

*Таблиця 1.12*

**Динаміка споживання енергетичних ресурсів  
промисловими підприємствами Хмельницької області, 2011 – 2015 рр.**

Показники	2011 р.	2012 р.	2013 р.	2014 р.	2015 р.
Всього, т у.п.	1931495,0	1844707,0	1817431,0	948360,4	861771,0
Вугілля кам'яне, т	432039,3	282970,7	290857,4	310180,7	285364,5
Брикети вугільні, т	713,2	418,4	353,4	405,0	222,6
Газ природний, тис. м <sup>3</sup>	979930,9	1002026,9	942683,5	375409,0	288173,7
Дрова для опалення, м <sup>3</sup> щілін	94765,1	109489,9	108291,6	135302,8	75304,4
Кокс та напівкокс, т	358,9	240,6	242,0	1023,2	224,4
Бензин моторний, т	109396,5	102362,2	98574,3	19856,1	18081,1
Газойлі (паливо дизельне), т	165807,0	175787,9	183127,9	136614,2	140372,2
Мазути паливні важкі, т	2448,7	1748,5	701,2	152,9	270,0
Оливи та мастила нафтові, т	4698,2	5012,9	5676,6	5456,6	4394,1
Пропан і бутан скраплені, т	10051,3	11391,3	13879,0	2250,1	3623,5
Бітум нафтовий, т	12852,7	6086,8	9268,2	2993,4	5053,1

*Джерело: узагальнено автором*

Аналізуючи спадну динаміку споживання енергетичних ресурсів на виробничі потреби промисловості області зауважимо, що значне зниження відбулось у 2015 – 2016 рр. майже по усім показникам. Так, споживання вугілля кам'яного, брикетів вугільних, мазутів паливних важких, пропану і бутану скрапленого зменшилось подекуди на 50 % від результативного показника. Різко зменшилось споживання природного газу (на 65 % у 2015 р. порівняно з 2011 р.), що пояснюється ситуацією на Сході країни та припиненням постачання блакитного палива з території Російської Федерації.

Аналіз динаміки споживання енергетичних ресурсів промисловими підприємствами Хмельницької області показує стійку узагальнену динаміку до зниження використання усіх паливних матеріалів у розрізі використання теплової та електроенергії (табл. 1.13).

*Таблиця 1.13*

**Використання паливно-енергетичних ресурсів  
промисловими підприємствами Хмельницької області, 2011 – 2015 рр.**

Показники	2011 р.	2012 р.	2013 р.	2014 р.	2015 р.
Паливно-енергетичних ресурси підприємствами – всього, тис. т у.п.	1490,5	1370,6	1280,2	1288,7	1144,2
у тому числі:					
Паливо, т у.п.	880561	755721	707451	699078	621213
Теплоенергія, Гкал	1312466	1324658	1096656	1224390	1005737
Електроенергія, тис. кВт-год.	1182148	1190976	1181970	1166245	1076992
Зниження (-) або збільшення фактичних витрат, % до попереднього року					
Паливо	- 4,4	- 13,2	- 4,8	- 0,9	- 0,4
Теплоенергія	- 4,6	0,8	- 2,6	- 5,9	- 1,3
Електроенергія	0,7	- 2,2	- 2,8	- 0,9	- 1,4

*Джерело: узагальнено автором*

Дані державного статистичного спостереження щодо результатів використання палива, теплоенергії та електроенергії, свідчить про те, що виробництво 41 % видів продукції, щодо яких органи державної статистики відслідковують фактичні витрати енергоресурсів, здійснювалось при зменшенні питомих витрат на одиницю продукції.

Так, у 2015 р. за рахунок зменшення питомих витрат у цілому по області спостерігалось зменшення фактичних витрат (економія) на виробництво продукції, зокрема, палива – на 2,5 тис. т умов.палив, теплоенергії – на 9,2 тис. Гкал, електроенергії – на 13,1 млн. кВт.-год. Разом з тим, 48 підприємств допустили перевитрати палива, 3 – теплоенергії, 52 – електроенергії. Цими підприємствами перевитрачено 7 тис. т енергоресурсів в умовному обчисленні.

Водночас індекс промислового виробництва у розрізі місяців, починаючи з січня-вересня 2016 р. становив 100 %, (у відповідному періоді минулого року – 99,9 %). Підприємствами області реалізовано готової продукції більше як на 21 млрд. грн., що на 2,7 млрд. грн більше ніж у 2015 р. (рис. 1.14).

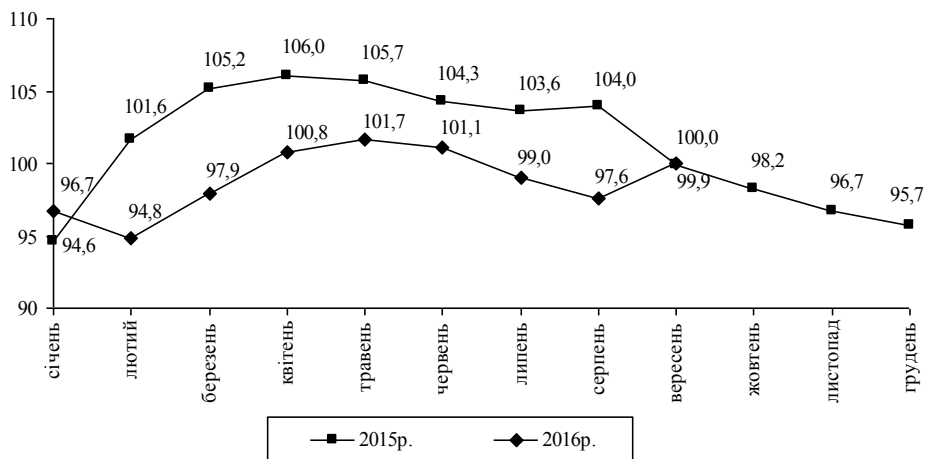


Рис. 1.14. Індекси промислової продукції, 2015 – 2016 рр., у % до відповідного періоду попереднього року, наростаючим підсумком

*Джерело: узагальнено автором*

Отже, у 2016 р. відбулось зниження індексів промислової продукції порівняно із 2015 р. Основними ризиками для роботи промисловості в 2015 – 2016 рр. стало зростання вартості сировини та енергоносіїв, зміни, пов'язані зі зростанням тарифів на залізничні перевезення, а також посилення фіскального тиску. Водночас, значна зношеність основних засобів, неповне завантаження виробничих потужностей, висока енергоємність продукції – основні чинники, що гальмують розвиток конкурентоспроможності вітчизняної продукції машинобудування.

Враховуючи вищезазначені тенденції та стратегічні пріоритети області щодо економічного і соціального розвитку, підвищення рівня енергоефективності споживання енергетичних ресурсів на виробничі потреби, вважаємо доцільним створення енергетичного кластеру на базі провідних машинобудівних підприємств Хмельницького регіону.

Енергетичний кластер має стати засобом, який дасть можливість подолати замкнутість, інертність, негнучкість між суб'єктами господарювання за умов створення сприятливого навколишнього середовища, що має велике значення для вироблення якісної енергетичної стратегії розвитку регіону. Кластер створює винятково сприятливі умови для розвитку спеціалізованих виробництв, насамперед, обслуговуючого й підтримуючого характеру та організацій-постачальників енергетичних послуг.

Отже, енергетичний кластер передбачає об'єднання географічно-локалізованих підприємств, пов'язаних технологічними зв'язками з метою надання послуг з постачання енергії суб'єктам інноваційної діяльності. Діяльність даного кластеру повинна бути зорієнтована на впровадження нових енергоощадних технологій, модернізацію застарілого обладнання, використання альтернативних (відновлювальних) джерел енергії та ін.

Концептуальна схема створення енергетичного кластера на базі підприємств машинобудування Хмельницького регіону, відображає складові, які забезпечують ефективність його діяльності та враховує виконання ряду етапів (рис. 1.15).

Зауважимо, що формування кластерного утворення потребує створення координаційного центру, що здійснює функцію управління підприємствами і становить ядро кластера. Ядром кластера, як правило, є потужне підприємство або сукупність провідних підприємств, які пов'язані вертикальними або горизонтальними зв'язками та взаємодіють з іншими учасниками кластера.





Рис. 1.15. Концептуальна схема етапів створення енергетичного кластерного утворення  
Джерело: авторська розробка

Серед провідних інноваційних промислових підприємств Хмельницької області, які потенційно моли би стати учасниками енергетичного кластера є ряд масштабних підприємств, діяльність яких формує соціально-економічний розвиток Хмельниччини (табл. 1.14).

Таблиця 1.14

**Провідні промислові підприємства Хмельниччини**

Назва підприємства	Вид діяльності
	Машинобудівна промисловість
ДП “Новатор”	Виробництво та ремонт виробів військового призначення, авіаційної апаратури, виробництво лічильників газу, води, електроенергії, виробів медичного призначення, телевізійної техніки
ПАТ “Укрелектроапарат”	Виробництво трансформаторів електричних
ТОВ “Трансформатор сервіс”	Виробництво трансформаторів електричних
ПАТ “Термопластавтомат”	Виробництво машин і устаткування загального призначення
ТОВ “Укрелектрокомплект”	Виробництво електророзподільної та контрольної апаратури
ПАТ завод “Нева”	Виробництво електричних побутових приладів
ПАТ завод “Темп”	Виробництво металопродукції виробничо-технічного призначення, сільськогосподарська техніка

Джерело: дані підприємств, розрахунки автора

Зауважимо, що створення енергетичного кластера дозволить реалізувати один із пріоритетів економічної політики Хмельницької області, а саме – досягнення енергозбереження. В умовах залежності економіки області від імпорту паливно-енергетичних ресурсів і тенденції зростання цін на енергоносії їх ефективне використання стало нагальною потребою. Оскільки, витрати на тонну умовного палива, отриманого за рахунок енергозбереження, у декілька разів менші за витрати на його закупівлю, то підвищення енергоефективності та енергозбереження є стратегічною лінією розвитку економіки та соціальної сфери на найближчу та подальшу перспективу.

Отже, концептуальна схема енергетичного кластерного утворення Хмельниччини може мати наступний вигляд (рис. 1.16).

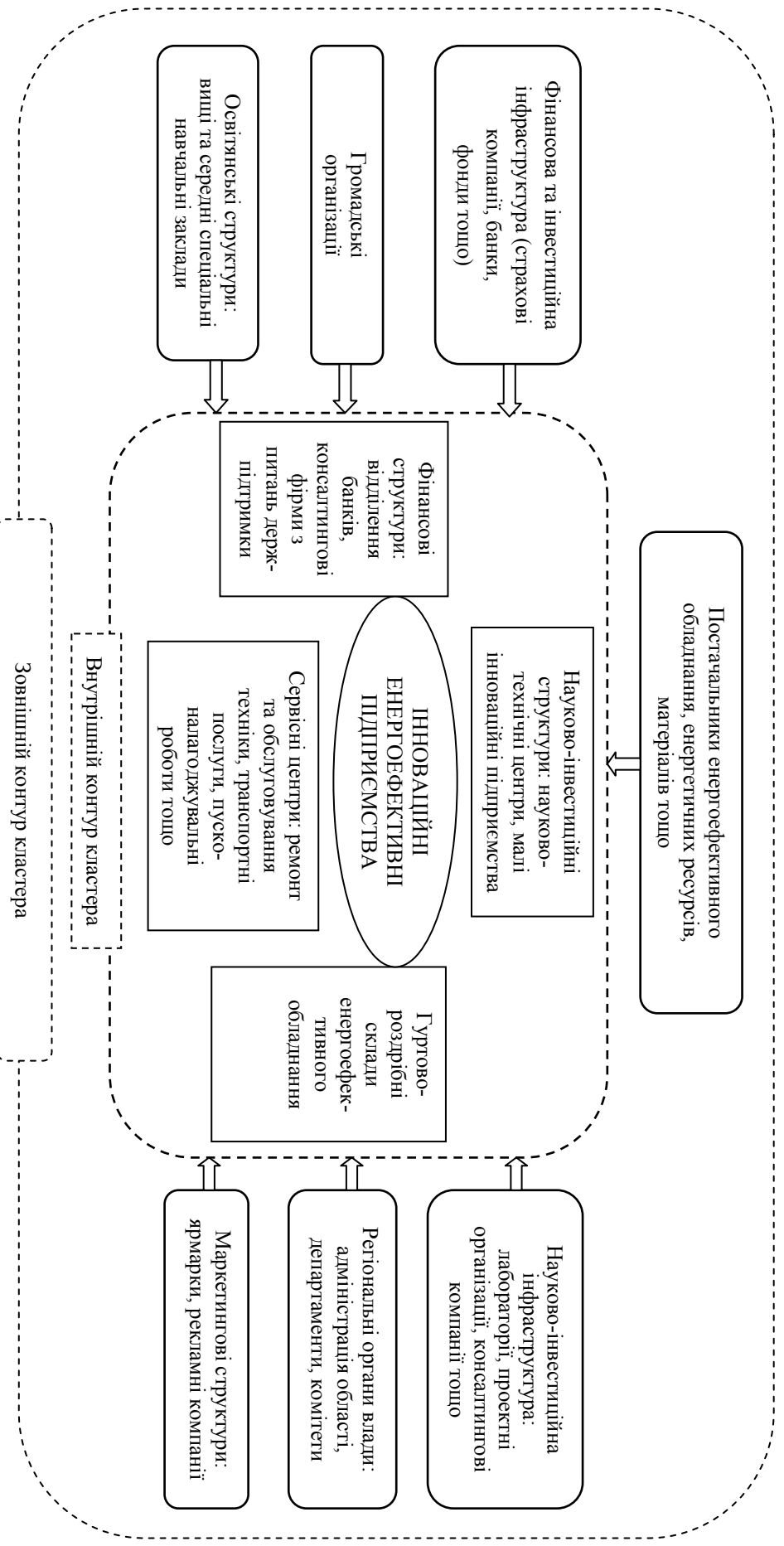


Рис. 1.16. Концептуальна схема структури енергетичного кластерного утворення  
 Джерело: узагальнено авторами за даними [3; 5]

Отже, енергетичний кластер можна представити як групу взаємопов'язаних підприємств, організацій, установ, представництв, що доповнюють один одного, посилюючи при цьому конкурентні переваги за рахунок синергетичного та енергозберігаючого ефекту. Суть енергетичного ефекту відображається у додаткових конкурентних перевагах учасників енергетичного кластеру, що виникають у процесі впровадження енергоефективних технологій, економії енергоресурсів у вартісному та натуральному виразах, підвищення енергостійкості та енергетичної безпеки. При цьому важлива роль належить місцевим органам самоврядування як основним координаторам, що мають сприяти та створювати юридичні і організаційні умови для функціонування промислових підприємств та споріднених галузей. Тісна співпраця учасників енергетичного кластеру дасть можливість не тільки вийти на зовнішні ринки суб'єктам кластера з метою збуту продукції, а й інвестувати кошти в удосконалення традиційних джерел енергії та можливості впровадження енергоефективних технологій на базі альтернативних джерел палива та енергетики.

Впровадження та функціонування енергетичного кластера має ряд не тільки економічних а й соціальних переваг. В результаті проведеного дослідження згруповано ряд переваг, які можуть бути отримані від діяльності енергетичного кластеру, а саме: забезпечення підприємств, організацій електричною та тепловою енергією; наявність спільних інтересів; інформаційна підтримка учасників кластера; створення сприятливих умов на енергетичному ринку шляхом стимулювання бізнесу до виробництва альтернативної енергії; перспективи залучення інвестиційних коштів; впровадження інновацій у сфері енергоефективності; створення нових робочих місць; екологічний ефект.

Проте, існують і перешкоди на шляху до створення енергетичного кластера, виникнення яких може гальмувати його діяльність. Основними з них можуть бути: бюрократичність процедури зародження кластера; недостатня поінформованість та несприйняття ідеї кластера; монополізм на енергетичному ринку; нестабільність валютного ринку; непривабливий інвестиційний клімат тощо.

В умовах сьогодення кластери являють собою певні комплекси, сформовані на основі територіальної концентрації підприємств, постачальників, виробників та споживачів суміжних галузей, які відзначаються ефективною взаємодією та взаємодоповнюють один одного.

В Україні кластерна форма організації господарства ще не набула достатнього поширення, що пов'язано із відсутністю заходів щодо розроблення та впровадження концепції кластеризації, в тому числі енергетичної. Проте утворення кластерів є одним із шляхів виходу економіки з кризи, що дозволить забезпечити високі енергоефективні темпи економічного зростання, знайти своє належне місце в системі світових господарських відносин.

Незважаючи на перспективність та актуальність впровадження кластерної стратегії розвитку економіки, кількість кластерів в Україні й досі є незначною. Це обумовлено відсутністю таких передумов як: досвіду функціонування кластерів в Україні; законодавчо-нормативної бази відносно створення, функціонування та розвитку кластерів; бажання у інвесторів залучатись до процесу кластеризації; інвестиційної привабливості регіонів; фінансових механізмів державного регулювання діяльності кластерів; організаційно-економічних механізмів формування, функціонування і розвитку кластерів; зацікавленості бізнесу в об'єднанні у великі виробничі системи тощо.

Отже, створення та впровадження енергетичного кластеру Хмельниччини на базі промислових підприємств створить умови для поліпшення інвестиційного клімату регіону, сприятиме розвитку енергоефективних технологій, соціальних, економічних та інформаційних систем.

### **1.9. Ретроспективний аналіз підходів до енергетичного планування на місцевому рівні**

© Горбань В. Б.

*к.е.н., Німецьке товариство міжнародного співробітництва (GIZ) ГмбХ, м. Київ, Україна*

Український енергетичний сектор перебуває на шляху реформування. Актуальним та надзвичайно важливим напрямком розвитку країни в сьогочасних умовах є пошук шляхів оптимізації структури енергоспоживання першочергово на місцевому рівні, адже встановлено, що муніципальний потенціал енергозбереження сягає близько 40 %. В цьому контексті, важливим є забезпечення сталого енергоефективного розвитку, націленого першочергово на розбудову інституційної спроможності територіальних громад з метою покращання умов та якості життя мешканців населених пунктів.

Слід зазначити, що територіальні громади належать до ключових споживачів енергії і при цьому відіграють визначальну мотиваційну роль для інших кінцевих споживачів, адже можуть вживати заходів, що впливають на зменшення обсягів використання енергії та викидів парникових газів.

В цілому, територіальні громади мають широке коло компетенцій, які стосуються енергоспоживання. Будучи споживачами паливно-енергетичних ресурсів (зокрема, на потреби

опалення, освітлення тощо), вони одночасно є власниками громадських будівель (дитячих садків, шкіл, лікарень тощо), а, отже, несуть відповідальність за інфраструктуру громади. З огляду на те, що коло діяльності та обов'язків місцевих органів влади є доволі широким, ефективне управління енергетичними потоками стає ключовим критерієм, що може забезпечити суттєву економію бюджетних коштів.

Разом з вищезазначеним, зауважимо, що територіальні громади здатні генерувати та здійснювати розподіл енергії (наприклад, є власниками генеруючих та розподільчих компаній), несучи одночасно відповідальність за регіональний розвиток. Це, своєю чергою, також актуалізує питання споживання та постачання паливно-енергетичних ресурсів. У зв'язку з зазначеним територіальна громада повинна постійно здійснювати координацію багатопланової діяльності на підзвітній території.

З метою кращого розуміння досліджуваної проблематики для прийняття ефективних управлінських рішень щодо забезпечення сталого енергоефективного розвитку територіальних громад необхідно проводити ґрунтовне аналізування вихідного стану споживання енергії з подальшою ідентифікацією окремих інфраструктурних секторів, що мають найвищий потенціал енергоефективності. У випадку розгляду структури енергоспоживання українських міст встановлено, що газ є домінуючим енергоресурсом [1; 2, с. 309 – 310; 3, с. 234]. У той же час найбільший відсоток споживання енергії припадає на сектори житлових будинків, громадських будівель та муніципальних об'єктів (рис. 1.17).

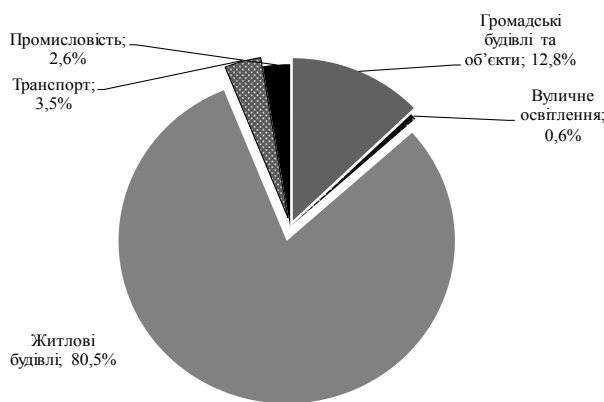


Рис. 1.17. Типовий розподіл енергоспоживання в містах України за секторальним підходом  
Джерело: розраховано автором за даними [1]

Слід зазначити, що переважна більшість громадських будівель та муніципальних об'єктів в Україні характеризується високим рівнем сумарного споживання паливно-енергетичних ресурсів через неналежну якість експлуатації.

Отже, енергетичні витрати на забезпечення дотримання у будівлях санітарних норм значно перевищують сучасні нормативи.

Слід також зауважити, що основний масив громадських закладів та об'єктів в Україні побудовано у період до 1990 р. Відтак спостерігається невідповідність теплотехнічних показників огорожуючих конструкцій будівель існуючим стандартам та вимогам з енергоефективності, що, своєю чергою, зумовлює значну потребу у їх модернізації. Аналогічна ситуація простежується із будівлями житлового сектору, особливо багатоквартирними будинками масових серій забудови. Основна причина високої енерговитратності багатоквартирного житлового фонду України обумовлена надмірними тепловтратами через огорожуючі конструкції будівель, а також низькою ефективністю їх внутрішньобудинкових інженерних систем. Переважна більшість будинків потребує капітального ремонту через наявні суттєві конструктивні недоліки.

Отже, існує потреба у широкомасштабній термомодернізації об'єктів житлового та громадського секторів, що, своєю чергою, здатна забезпечити істотне скорочення потреби у паливно-енергетичних ресурсах [3, с. 236; 4, с. 585; 5, с. 48 – 92].

Проте, запровадження зазначеного підходу чинитиме значний вплив на діяльність підприємств різних форм власності, що надають послуги із електропостачання, теплопостачання, централізованого водопостачання та водовідведення, котрі, своєю чергою, у більшості випадків не мають достатніх ресурсів для проведення модернізації їх інфраструктурних мереж та систем. Тому реалізація окреслених вище проектів повинна бути узгоджена із схемами теплопостачання населених пунктів України, схемами оптимізації роботи систем централізованого водопостачання та водовідведення, місцевими та регіональними програмами модернізації існуючих систем та інженерних мереж тощо.

Також слід зазначити, що перманентне зростання тарифів на паливно-енергетичні ресурси (природний газ, електричну та теплову енергію) чинить значний вплив на зростання обсягу витрат на оплату енергоносіїв для будівель громадського та житлового секторів, а також муніципальних об'єктів.

Державна політика у питаннях тарифоутворення в Україні протягом значного періоду часу не отримувала належного контролю та практичної реалізації. Першочергово це стосується цін на паливно-енергетичні ресурси для потреб населення. Зокрема, протягом багатьох років витрати надавачів житлово-комунальних послуг на постачання основних груп паливно-енергетичних ресурсів населенню покривались через систему перехресного субсидування коштами споживачів інших категорій. За таких умов рівень мотивації щодо ощадливого споживання енергії був надзвичайно низьким, а енергоефективні проекти в житловому секторі не мали достатньої інвестиційної привабливості через низький рівень тарифів.

У 2014 р. Кабінетом Міністрів України було прийнято рішення про необхідність вдосконалення державної політики регулювання цін на природний газ і тарифів на теплову енергію з метою приведення їх до економічно обґрунтованого рівня [6], що призвело до стрімкого зростання цін на основні групи паливно-енергетичних ресурсів. Зокрема, у 2015 р. в порівнянні з 2010 р. ціни на природний газ для населення зросли в 14,8 разів, а для непобутових споживачів в 3,3 рази. В той же час вартість електричної енергії зросла в середньому в 2,6 разів для населення, а для непобутових споживачів – в 2,8 разів [7]. 3 жовтня 2017 р. НАК “Нафтогаз України” збільшив ціну на газ на 3,1 %, що відпускається промисловим споживачам на умовах передоплати [8]. В той же час, з квітня 2018 р. Кабінет Міністрів України планує змінити методику визначення ціни на газ для населення, що призведе до подорожчання газу на більш, ніж 8 %. Окрім того, консенсус-прогноз Міністерства економічного розвитку і торгівлі України, що оприлюднений на сайті відомства [9], передбачає зростання у 2018 р. тарифів на газ на 19 %, на потреби опалення, гарячу воду і електроенергію – на 20 %. При цьому у 2019 р. можливий ріст тарифів на природний газ становитиме 12,5 %, на опалення, гарячу воду та електроенергію – на 17,5 %. У 2020 р. зростання тарифів на електроенергію і газ може становити 10 %, на опалення і гарячу воду – 19 %.

Отже, прагматична тарифна політика стає визначальним чинником, котрий змушує споживачів усіх категорій секторів переглянути свої уявлення щодо раціонального споживання і використання паливно-енергетичних ресурсів. Відтак питання енергозбереження постає як ніколи гостро.

За результатами власних досліджень [4, с. 579 – 604; 10, с. 54 – 57; 11, с. 48 – 54] виявлено, що протягом останніх років значно пріоритезовано вектор із якісного видозмінення рівня енергоефективності у територіальних громадах, котрі в сьогочасних умовах виступають основними споживачами паливно-енергетичних ресурсів.

Відтак важливо досліджувати та імплементувати інноваційні механізми енергоефективної трансформації міст для впровадження дієвої енергетичної політики, першочергово націленої на реалізацію концепції сталого енергетичного розвитку. У даному контексті енергетичному плануванню слід відводити першочергове місце.

Беручи до уваги результати власних наукових досліджень [10, с. 54 – 57; 12, с. 75 – 77], слід зауважити, що протягом останніх років в Україні відбулась концептуальна перебудова імперативних підходів до процесів планування в енергетичній сфері, котрі, своєю чергою, закладають ґрунтовну основу для подальшого сталого розвитку.

Аналіз ситуації із енергетичним плануванням у територіальних громадах України демонструє, що доволі часто проблематика енергетичної сфери розглядається лише як елемент програми соціально-економічного розвитку або ж обмежується розробкою програми енергозбереження лише в певній галузі [4, с. 587; 10, с. 56].

Одночасно слід зауважити, що більшість українських міст під впливом Пакету ініціатив Європейського Союзу з питань клімату й енергетики та програмної ініціативи Європейської комісії “Угода мерів” (“Covenant of Mayors”) [1] протягом останніх восьми років здійснили значні кроки у напрямку модифікації способів розвитку екологічно-орієнтованої економіки та муніципального енергетичного планування шляхом розроблення стратегічних планів дій зі сталого енергетичного розвитку (далі – ПДСЕР) на довготривалу перспективу.

Перше місто України долучилось до “Угоди мерів” у 2010 р. Надалі протягом 2010 – 2015 рр. кількість підписантів стрімко зросла до 99 міст [1].

Станом на 01.01.2018 р. за даними офіційного сайту “Угоди мерів” [1] зареєстровано 180 підписантів, котрі демонструють значну зацікавленість у досягненні амбітних цілей у галузі енергетики й збереження клімату.

Беручи до уваги процес трансформації цілей “Угоди мерів” (табл. 1.15) та її ключових завдань, висвітлених у [1; 12], в рамках даного дослідження буде охоплено часовий період від моменту започаткування досліджуваної ініціативи ЄС та здійснено комплексне аналізування особливостей підготовки ПДСЕР українськими містами з видозміненням їх структури у зв’язку зі зміною вимог до кадастру викидів та секторальних типологій.

**Трансформація цілей та завдань програмної ініціативи  
Європейської комісії “Угода мерів”, 2008 – 2018 рр.**

Фази ініціативи ЄС	Фаза 1	Фаза 2	Фаза 3	Фаза 4
Часовий період	2008 – 2011 рр.	2011 – 2013 рр.	2013 – 2015 рр.	2015 р. – до тепер
Стратегічні документи	ПДСЕР	ПДСЕР	ПДСЕР СПДСЕР	ПДСЕРК
Часовий горизонт	2020	2020	2020	2030
Обсяг скорочення CO <sub>2</sub>	20 %	20 %	20 %	40 %

Умовні позначення:

ПДСЕР – План дій зі сталого енергетичного розвитку;

СПДСЕР – Спільний План дій зі сталого енергетичного розвитку;

ПДСЕРК – План дій зі сталого енергетичного розвитку та клімату

*Джерело: узагальнено автором за даними [1]*

Протягом зазначеного періоду українськими містами зроблено значний поступ у розробленні муніципальних енергетичних планів, зокрема протягом 2010 – 2013 рр. в рамках виконання зобов'язань “Угоди мерів” було розроблено 18 планів дій сталого енергетичного розвитку (табл. 1.16).

*Таблиця 1.16*

**Перелік українських громад-підписантів “Угоди мерів”, що  
розробили плани дій сталого енергетичного розвитку, 2010 – 2013 рр.**

Назва територіальної громади	Кількість населення, осіб	Дата прийняття ПДСЕР
Вознесенськ	42634	2010 р.
Кам'янець-Подільський	98953	2011 р.
Первомайськ	67800	2011 р.
Долина	20696	2011 р.
Львів	758351	2011 р.
Луцьк	212000	2012 р.
Славута	35442	2013 р.
Кривий Ріг	667900	2013 р.
Новоград-Волинський	56300	2013 р.
Ковель	68279	2013 р.
Славутич	25006	2013 р.
Вінниця	370100	2013 р.
Євпаторія	123456	2013 р.
Самбір	35054	2013 р.
Черкаси	287000	2013 р.
Миргород	41300	2013 р.
Тернопіль	216502	2013 р.
Жмеринка	35500	2013 р.

*Джерело: [1]*

Типовий план сталого енергетичного розвитку українських міст включав:

1. Аналіз поточного енергетичного стану міста з зазначенням структури енергозабезпечення, виділенням первинних та вторинних видів енергії, що займають найбільшу частку у структурі енергозабезпечення міста, аналіз можливостей і загроз. У переважній більшості випадків у ПДСЕР було включено наступні сектори: муніципальні будівлі, обладнання та споруди; інші (немуніципальні) будівлі, обладнання та споруди; житлові будинки; транспорт (включаючи муніципальний автопарк, громадський транспорт і приватні транспортні засоби). Зокрема, це ПДСЕР м. Вознесенськ, м. Кам'янець-Подільський, м. Львів, м. Ковель, м. Луцьк, м. Славутич, м. Вінниця, м. Тернопіль. У ПДСЕР м. Долина додатково охоплено сектор промисловості та підприємництва. Проте, слід зазначити, що основний фокус переважної більшості муніципальних енергетичних планів здійснено на будівлі, що фінансуються з міських бюджетів, оскільки рівень впливу на них з позиції оптимізації витрат на комунальні послуги чи фінансування заходів з енергоефективності є найвищим.

2. Складання базового кадастру викидів парникових газів.

3. Деталізований перелік енергоефективних заходів із зазначенням очікуваної економії паливно-енергетичних ресурсів та обсягів зниження вуглекислого газу.

4. Визначення фінансових рамок та джерел фінансування.

Слід зазначити, що у 2014 р. Європейська комісія додатково запропонувала Адаптивну ініціативу міських голів (“Mayors Adapt initiative”) [1]. На основі тих самих принципів, що й “Угода Мерів”, дана “сестринська ініціатива” була орієнтована на адаптацію громад до кліматичних змін через розроблення та реалізацію місцевих адаптаційних кліматичних стратегій.

У травні 2014 р. відбулись зміни і у вимогах до підготовки ПДСЕР [1]. Перша зміна стосувалась сумарного бюджету, зокрема здійснено специфікацію обсягу фінансових ресурсів та джерел їх походження. Додатково внесені зміни у базовий кадастр викидів вуглекислого газу, зокрема розділ “Промисловість” розділено на два підрозділи, тобто промисловість, яка не входить в Європейську систему торгівлі викидами, і промисловість, що входить в Європейську систему торгівлі викидами. Незважаючи на те, що при розрахунку базового кадастру викидів не рекомендується враховувати промисловість, що входить в Європейську систему торгівлі викидами, тим не менш, декілька великих міст, все ще мають певні повноваження для активних дій в цьому секторі. Окрім того, у розділі “Енергоспоживання для теплоелектроцентралей” додано опцію поділу електроенергії або теплопостачання/холодопостачання, отриманого з відновлюваних і невідновлюваних джерел, що особливо актуально для станцій двопаливного типу або станцій, що використовують резервне паливо.

У макросекторі “Будівлі, обладнання/споруди і промисловість” введено новий секторальний розподіл, котрий включає підсумки для “Муніципальних будівель, обладнання/споруд”, “Третинних будівель, обладнання/споруд”, “Житлових будинків”, “Вуличного освітлення” і “Промисловості”.

Розділи “Планування землекористування”, “Державні закупівлі”, “Робота із громадянами та зацікавленими сторонами” переведено в нову класифікацію дій як “інструмент політики”. Окрім того, введена нова типологія основних дій ПДСЕР, а саме: “зона впливу”, “інструмент політики”, “першоджерело адміністративної відповідальності для імплементації дій” [1; 13].

Відповідно до вищевказаних нововведень, за період 2014 – 2015 рр. українськими містами було підготовлено 31 план дій сталого енергетичного розвитку (табл. 1.17, табл. 1.18).

*Таблиця 1.17*

**Перелік українських громад-підписантів “Угоди мерів”, що  
розробили плани дій сталого енергетичного розвитку, 2014 р.**

Назва територіальної громади	Кількість населення, осіб	Дата прийняття ПДСЕР
Івано-Франківськ	240000	2014 р.
Жовква	13316	2014 р.
Конотоп	93500	2014 р.
Великі мости	6037	2014 р.
Українка	15458	2014 р.
Глиняни	3242	2014 р.
Мена	12231	2014 р.
Бердянськ	117374	2014 р.
Прилуки	64900	2014 р.
Нововолинськ	58040	2014 р.
Короп	5505	2014 р.
Новояворівськ	28807	2014 р.
Кам’янка-Бузька	11700	2014 р.
Гола Пристань	15001	2014 р.
Рівне	250205	2014 р.
Маріуполь	461810	2014 р.

*Джерело: [1]*

Аналізування табл. 1.18 показує, що до процесу видозмінення енергетичної політики на місцях почали долучатись не лише великі міста, але й сільські громади та селища міського типу (зокрема, Варва, Омельник тощо).

Зауважимо, що наприкінці 2015 р. “Угода мерів” та “Адаптивна ініціатива міських голів” офіційно об’єднались у новий пакт мерів щодо клімату та енергетики (“Covenant of Mayors for Climate & Energy”) [1], цілі та напрямки діяльності якого є більш амбітними та широкомасштабними: міста, які підписали цей документ, зобов’язуються скоротити обсяг викидів CO<sub>2</sub> щонайменше на 40 % до 2030 р. та запровадити у своїх громадах комплексний проектний підхід до вирішення проблеми запобігання зміни клімату.

Протягом 2016 р. – I кварталу 2018 р. в Україні було розроблено 36 планів дій сталого енергетичного розвитку в рамках виконання зобов’язань “Угоди мерів” (табл. 1.19) [1].

**Перелік українських громад-підписантів “Угоди мерів”,  
що розробили плани дій сталого енергетичного розвитку, 2015 р.**

Назва територіальної громади	Кількість населення, осіб	Дата прийняття ПДСЕР
Чернігів	296836	2015
Біляївка	15132	2015
Дубно	36700	2015
Херсон	324256	2015
Житомир	272000	2015
Краматорськ	157627	2015
Чугуїв	33218	2015
Мелітополь	156719	2015
Чернівці	262294	2015
Бердичів	78547	2015
Щорс	11393	2015
Коростень	65000	2015
Комсомольськ	51800	2015
Варва	12193	2015
Омельник	2126	2015

*Джерело: [1]*

Дані табл. 1.19 демонструють перший приклад в Україні щодо написання Спільного плану дій зі сталого енергетичного розвитку, розробленого Музиківською об'єднаною територіальною громадою (утвореною під впливом реформи децентралізації влади).

Таблиця 1.19

**Перелік українських громад-підписантів “Угоди мерів”, що  
розробили плани дій сталого енергетичного розвитку, 2016 – 2018 рр.**

Назва територіальної громади	Кількість населення, осіб	Дата прийняття ПДСЕР
Музиківська громада	2672	2016 р.
Артемівськ (Бахмут)	80655	2016 р.
Добропілля	31196	2016 р.
Суми	266210	2016 р.
Сватове	18241	2016 р.
Трускавець	29583	2016 р.
Гнівань	13700	2016 р.
Хмельницький	267735	2016 р.
Кузнецовськ	42000	2016 р.
Винники	16500	2016 р.
Бурштин	15586	2017 р.
Біла Церква	209815	2017 р.
Білгород-Дністровський	50078	2017 р.
Чортків	29169	2017 р.
Фастів	47284	2017 р.
Ізмаїл	72471	2017 р.
Кам'янське (Дніпродзержинськ)	244201	2017 р.
Канів	25200	2017 р.
Хотин	9422	2017 р.
Кременчук	225828	2017 р.
Лубни	47827	2017 р.
Моршин	5992	2017 р.
Ніжин	71814	2017 р.
Одеса	1012277	2017 р.
Полтава	295950	2017 р.
Пирятин	17261	2017 р.
Щасливице	1461	2017 р.
Северодонецьк	120000	2017 р.
Скадовськ	22287	2017 р.
Слов'янськ	115421	2017 р.
Запоріжжя	766662	2017 р.
Золочів	24074	2017 р.
Верхньодніпровськ	16976	2017 р.
Вугледар	15293	2018 р.
Болград	15470	2018 р.
Пологи	19248	2018 р.

*Джерело: [1]*



Окрім того, слід зазначати, що переважна частина нових підписантів у своїх стратегічних енергетичних планах уже задекларували зменшення викидів парникових газів не менше ніж на 40 % до 2030 р. Це зокрема, Біла Церква, Білгород-Дністровський, Чортків, Фастів, Хотин, Пологи, Щасливцеве, Северодонецьк, Верхньодніпровськ та Золочів [1]. Існуючі тенденції свідчать, що все більше міст України усвідомлюють необхідність розроблення і впровадження комплексних планів з енергоефективності та збереження клімату, котрі охоплюватимуть основні галузі щодо виробництва та споживання паливно-енергетичних ресурсів у містах.

В цілому, аналізування табл. 1.17 – 1.18, показує, що інструменти муніципального енергетичного планування вже тривалий час застосовуються в Україні, проте першочергово стратегічні енергетичні плани щодо сталого розвитку розроблялись у містах обласного значення, котрі мали відповідні людські, фінансові та матеріальні ресурси, а також політичну волю та рішучість керівництва міста для реалізації ПДСЕР. Проте протягом останніх років під впливом реформи місцевого самоврядування та децентралізації влади, яка передбачає передачу більших повноважень і ресурсів на рівень територіальних громад, цей процес активізовано і у селах, селищах міського типу, а також спроможних об'єднаних територіальних громадах, котрі, своєю чергою, питання енергозбереження бачать одними із пріоритетних у своїй місцевій політиці.

В цілому, план дій зі сталого енергетичного розвитку дає змогу відобразити узгоджену систему стратегічних та операційних цілей із підвищення енергоефективності та втілення проектних заходів щодо раціонального використання паливно-енергетичних ресурсів, а також розвитку відновлюваних джерел енергії. ПДСЕР передбачає врахування економічних, соціальних і екологічних механізмів задля розвитку енергетичної сфери громади, покращання стану довкілля та задоволення потреб населення.

Слід зауважити, що у ПДСЕР повинно бути ідентифіковано, яким чином буде здійснено реалізацію цільових завдань у розрізі часових періодів. Незважаючи на те, що планові довгострокові завдання носять скоріше індикативний, а не обов'язковий характер, міста приймають на себе чітке зобов'язання щодо встановлення цільових показників і повинні прагнути до їх виконання за рахунок імплементування відповідних економічних важелів.

Основною проблематикою розробки та подальшої реалізації таких комплексних планів дій сталого енергетичного розвитку міст на сьогодні є: наявність та достовірність даних щодо споживання паливно-енергетичних ресурсів в розрізі інфраструктурних секторів, можливість впливу місцевих органів влади на той чи інший сектор, а також питання фінансового забезпечення задекларованих у ПДСЕР проектних заходів.

З усіх можливих заходів з підвищення енергоефективності лише окремі є економічно доцільними та фінансово привабливими. В даному контексті важливо проводити чітке розмежування між економічно доцільними і фінансово привабливими проектами з метою ідентифікації обсягу очікуваної економії. В даному випадку, ключова відмінність полягає у призначенні інвестиційних ресурсів, що обумовлюється різною ставкою дисконтування для державних і приватних інвестицій та різними типами ефектів від впровадження заходів.

Отже, економічно доцільні проекти в переважній більшості випадків призводять до економії паливно-енергетичних ресурсів і грошових коштів протягом терміну життєвого циклу інвестиційного проекту, проте економія або дохід від вивільнених ресурсів не обов'язково можуть бути отримані будь-яким конкретним споживачем енергії або забезпечуватимуть привабливий рівень доходу для приватного інвестора. В той же час, фінансово привабливі проекти забезпечують повернення капіталовкладень для приватних інвесторів, що здійснюють ці інвестиції.

Слід зауважити, що реалізація задекларованих у ПДСЕР цілей вимагає залучення суттєвих інвестиційних ресурсів у модернізацію існуючих об'єктів критичної енергетичної інфраструктури, будівництва нових об'єктів альтернативної енергетики, розширення інституційної спроможності органів влади та підвищення рівня інформованості населення.

Важливим є залучення фінансових ресурсів бюджетів різних рівнів, а також інших джерел фінансування, не заборонених чинним законодавством (грантів, позик, механізмів державно-приватного партнерства, договорів з енергосервісними компаніями тощо).

В сьогочасних умовах на ринку наявні доступні умови співпраці у сфері енергозбереження з метою залучення грантових та кредитних коштів. Зокрема, на даний момент їх пропонують: European Union (Європейський Союз), European Bank for Reconstruction and Development (Європейський банк реконструкції та розвитку), World Bank (Світовий банк), United States Agency for International Development (Агентство США з міжнародного розвитку), Nordic Environment Finance Corporation (Північна Екологічна Фінансова Корпорація), E5F (Фонд Східного Партнерства в сфері енергоефективності та екології), GIZ (Німецьке товариство міжнародного співробітництва), INOGATE (Міжнародна програма співпраці в енергетичній сфері), International Finance Corporation (Міжнародна

фінансова корпорація) та інші [14]. В даному контексті важливим вбачається раціональне формування портфелів інвестиційних проектів з ідентифікацією першочергових до імплементації проектів, реалізація яких дозволить сумарно отримувати найбільший потенціал енергоефективності.

Важливим є також здійснення моніторингу виконання планів дій зі сталого енергетичного розвитку, а також їх перегляд в разі потреби, що може бути зумовлено впливом політичних, економічних чи соціальних реформ. Зауважимо, що усі підписанти “Угоди мерів” через два роки після прийняття ПДСЕР повинні забезпечити подачу моніторингового звіту для оцінювання прогресу у досягненні цілей щодо пом’якшення наслідків зміни клімату, інвентаризації обсягу викидів парникових газів, скорочення викидів та споживання енергії [1; 15].

У табл. 1.20 наведено перелік українських міст, котрі відповідно до часових вимог сформували зазначені звіти.

Таблиця 1.20

**Основні аспекти моніторингових звітів щодо імплементації планів дій сталого енергетичного розвитку українських міст, розроблених в рамках програмної ініціативи ЄС “Угода мерів”**

Назва громади	Ціль щодо зменшення обсягу CO <sub>2</sub>	Охоплені сектори	Витрачений бюджет на впровадження заходів, %
Бердянськ	20 %	Муніципальні будівлі та об’єкти, виробниче обладнання	50,0
Біляївка	20 %	Муніципальні будівлі та об’єкти, виробниче обладнання Зовнішнє освітлення Третинні будівлі та об’єкти	9,13
Долина	21 %	Муніципальні будівлі та об’єкти, виробниче обладнання Житлові будівлі	26,23
Гола Пристань	30 %	Тепло-холодопостачання Муніципальні будівлі та об’єкти, виробниче обладнання Зовнішнє освітлення	46,54
Коростень	20 %	Муніципальні будівлі та об’єкти, виробниче обладнання Житлові будівлі Зовнішнє освітлення	25,58
Львів	21 %	Муніципальні будівлі та об’єкти, виробниче обладнання Інші	18,17
Мена	20 %	Муніципальні будівлі та об’єкти, виробниче обладнання Промисловість	56,73
Первомайськ	22 %	Муніципальні будівлі та об’єкти, виробниче обладнання Житлові будівлі Транспорт Виробництво електроенергії Зовнішнє освітлення Інші	47,93
Українка	27 %	Зовнішнє освітлення Житлові будівлі	1,55
Вінниця	22 %	Транспорт Тепло-холодопостачання	12,68
Вознесеньск	33 %	Виробництво електроенергії Інші	3,50
Жовква	22 %	Муніципальні будівлі та об’єкти, виробниче обладнання Тепло-холодопостачання	12,41

Джерело: [1]

З даних табл. 1.20 видно, що серед основних секторів, що мають значний потенціал енергоефективності, виділено: громадські та житлові будівлі, будівлі третинного сектору, вуличне освітлення, транспорт, підприємства, що займаються централізованим водопостачанням та водовідведенням, а також виробництвом і постачанням теплової та електричної енергії. Проте розмір витрат фінансових ресурсів на імплементацію заходів з енергозбереження залишається доволі низьким.

Слід також зазначити, що в залежності від інфраструктурного сектору, в якому здійснюється впровадження заходів з енергозбереження, відбувається диференціація не лише типів енергоефективних проектів, а також мотиваційних інтересів ключових стейкхолдерів, що залучені до їх імплементації.

Наприклад, для сектору громадських будівель та об’єктів, можна виділити наступні мотиваційні інтереси стейкхолдерів місцевого рівня – запобігання наростаючому фізичному руйнуванню будівель, зменшення обсягу енергоспоживання та енерговикористання, зменшення обсягу викидів вуглекислого

газу в атмосферу, залучення додаткових фінансових ресурсів для впровадження енергоефективних проектів, формування пулу стандартних енергоефективних рішень для їх масового застосування тощо. Для сектору житлових будівель – підвищення енергоефективності будівель, належна якість комунальних послуг, заощадження коштів, особливо при зростанні цін на паливно-енергетичні ресурси, проведення роз'яснювальної роботи щодо питань енергозбереження та проблем захисту клімату тощо. Для сектору промисловості – максимізація доходів від діяльності, прийнятний рівень тарифів на оплату паливно-енергетичних ресурсів, зниження енергоємності праці та продукції, впровадження інноваційних енергозберігаючих технологій та альтернативних джерел енергії та інші. Проте у підсумку ключовими інтересами стейкхолдерів місцевого, регіонального та національного рівнів є формування і провадження ефективної енергетичної політики, а також забезпечення належного рівня енергетичної безпеки [11, с. 50 – 55; 16, с. 191 – 199].

Втім наведені типові мотиваційні інтереси стейкхолдерів щодо сталого енергоефективного розвитку, можуть зазнавати видозмінення, враховуючи стрімкі зміни та біфуркаційність зовнішнього середовища. Яскравим прикладом концептуального видозмінення інтересів стейкхолдерів є сектор житлових будівель. Зауважимо, що вирішення питань ефективності житлово-комунального господарства до останнього часу було, як правило, в компетенції органів місцевого самоврядування. Із прийняттям Закону України “Про особливості здійснення права власності у багатоквартирному будинку” [17] всі права і відповідальність за прийняття рішень щодо утримання та управління багатоквартирним будинком передано населенню, а саме співвласникам багатоквартирного житлового фонду. Отже, новоутворена концепція інтенсифікації створення об'єднань співвласників багатоквартирних будинків суттєво модифікувала мотиваційні інтереси зацікавлених сторін, перемістивши кінцевих споживачів із другорядних стейкхолдерів в домінуючі.

Отже, важливо здійснювати належну координацію зусиль ключових стейкхолдерів національного, регіонального та місцевого рівнів (зокрема, органів державної влади, органів місцевого самоврядування та їх виконавчих органів, підприємств різних форм власності, науково-дослідних інституцій та населення) для гармонізації їх мотивів щодо імплементації заходів з енергозбереження.

Підсумовуючи, слід зауважити, що питання раціонального планування в енергетичній сфері на місцевому рівні є визначальним для подальшої ефективної реалізації енергетичної політики. В сучасних умовах глобалізації, використовуючи концептуальну парадигму проектного менеджменту та стейкхолдер-орієнтований підхід, інструменти муніципального енергетичного планування стають ключовими мотиваційними факторами для якісного видозмінення політики сталого розвитку та ефективної енергетичної трансформації територіальних громад.

#### **1.10. Передумови енергетичної бідності в контексті трансформації взаємовідносин на енергетичному ринку**

© **Завгородня С. П.**

*к. держ. упр., с. н. с. відділу енергетичної та техногенної безпеки,  
Національний інститут стратегічних досліджень, м. Київ, Україна*

Посилення зусиль, спрямованих на забезпечення доступу до недорогих та екологічно чистих джерел енергії актуалізується необхідністю розв'язання проблеми існування бідності у всіх її формах, яка до цього часу залишається однією з найгостріших, що стоять перед людством. Зважаючи на це, поміж інших Глобальних цілей (Цілей сталого розвитку), що були затверджені на Саміті ООН зі сталого розвитку у 2015 р. забезпечення суспільства доступною та чистою енергією задекларовано як один із ключових напрямів [1].

Для держав-членів Європейського співтовариства проблему енергетичної бідності у Директиві Європейського парламенту та Ради 2009/73/ЄС [9] визначено зростаючою. Передбачено, що для її подолання держави-члени мають ухвалити відповідні заходи, розробити національні плани дій або здійснити інші належні кроки. При цьому варто відзначити, що характерними ознаками енергетичної бідності, що слугують домінантами при визначенні першочергових завдань органів державної влади щодо її подолання визначено [2]: неможливість окремих груп та шарів населення реалізувати свої потреби в енергетичних ресурсах внаслідок лібералізації енергетичних ринків; нерозвиненість потреб населення в енергетичних ресурсах та рівень їх реалізації, що впливає на рівні та масштаби енергетичної бідності; вимушене позбавлення населення можливості задовольнити свої потреби в енергетичних ресурсах, які необхідні для підтримання способу життя притаманного конкретному суспільству в конкретний період.

Визначені як в державах-членах Європейського співтовариства, так і інших країнах світу проблеми енергозабезпечення населення, в Україні загострюються суперечностями проголошеної державної політики та реальних кроків з її реалізації в контексті трансформації моделі взаємовідносин від пострадянської до ринкової. Як стверджується у дослідженні [11] наразі стан реалізації державної політики реформування взаємовідносин в енергетичному секторі України, характеризується частковою

імітацією процесу політичного чи технологічного “наближення” до нових моделей управління та господарювання на енергетичних ринках через реалізацію окремих проектів у енергетичній сфері при збереженні в незмінному вигляді існуючої моделі функціонування енергетичного сектору. Зокрема, лібералізація ринку з переходом до ринкових цін для всіх категорій споживачів на внутрішньому ринку за неготовності окремих учасників ринку (в тому числі і населення) до захисту своїх економічних інтересів самостійно створює додаткові передумови до виникнення енергетичної бідності. Зважаючи на це, актуально дослідити соціально-економічні передумови виникнення енергетичної бідності, що можуть бути породжені як об’єктивними умовами, так і внаслідок реалізації економічних інтересів окремих учасників на енергетичному ринку та їх взаємодії у трикутнику “держава – виробник – споживач”.

Безумовно, об’єктивною передумовою виникнення енергетичної бідності є економічна бідність, що залишається однією з найгостріших проблем що стоїть перед людством. Загалом, на думку Е. Лібанової [4], яка, як на наш погляд, досить системно досліджувала причини виникнення бідності, безпосереднім підґрунтям даного явища є нерівність, що обумовлена об’єктивними відмінностями різних індивідів, зокрема можливостями реалізувати свій трудовий потенціал. Фактично на сьогодні за лібералізації енергетичних ринків, що супроводжується ринковим ціноутворенням для всіх категорій споживачів на внутрішньому ринку, енергетична бідність є характерною рисою не лише країн що розвиваються. Вона, також проявляється й у високорозвинених країнах світу та притаманна бідним верствам населення.

Для реагування на об’єктивні передумови виникнення енергетичної бідності у зарубіжних країнах значною мірою формалізовано процедури, які визначають принципові позиції політики держави у цій сфері, що передбачають, зокрема, такі заходи, як: встановлення критерію, за яким визначається населення, що потребує допомоги; ідентифікація вразливих споживачів енергоресурсів за допомогою моніторингу та оцінювання рівнів доходів населення; розробка та реалізація комплексу заходів щодо подолання енергетичної бідності та оцінювання їх наслідків [14].

В Україні, зважаючи на гіпертрофовану нерівність доходів різних верст населення, дослідження яких проводилося Інститутом демографії та соціальних досліджень НАН України ім. М. В. Птухи, мають місце передумови настання енергетичної бідності в досить великих масштабах. Тобто, зважаючи що доходи 10 % найбагатших і 10 % найбідніших українців з врахуванням тіньових доходів відрізняються у 40 разів [6], проблема настання енергетичної бідності стоїть досить гостро.

Результати аналізу процесу попередження та порядку захисту вразливих споживачів енергоресурсів свідчать про запровадження в українській правовій практиці процесу ідентифікації вразливих споживачів енергоресурсів, а також щодо моніторингу соціального доходу домогосподарств. Зокрема, у постанові Кабінету Міністрів України “Про новий розмір витрат на оплату житлово-комунальних послуг, придбання скрапленого газу, твердого та рідкого пічного побутового палива у разі надання житлової субсидії” визначено, що субсидії на відшкодування житлово-комунальних послуг надаються населенню у разі перевищення базової норми плати у розмірі 15 %. Унеможливує отримання соціального забезпечення випадки здійснення покупки, яка перевищує 50 тис. грн. – визначено Постановою Кабінету Міністрів України “Про спрощення порядку надання населенню субсидій для відшкодування витрат на оплату житлово-комунальних послуг, придбання скрапленого газу, твердого та рідкого пічного побутового палива”. Передбачається також підготовка процесу монетизації субсидій на рівні домогосподарств (створення необхідної інфраструктури, створення єдиного реєстру та бази даних субсидіантів і їх верифікація тощо), а монетизація субсидій на рівні підприємств заплановано реалізувати в 2019 р. [5].

Наразі ж зберігається ситуація за якої “субсидування населення” здійснюється на основі компенсації витрат та спрямування бюджетних коштів до постачальників енергетичних послуг. За таких умов відбувається динамічне зростання обсягу перерахування коштів з державного бюджету (субсидій) на адресу постачальників енергетичних послуг, тим самим компенсуються витрати населення за енергетичні послуги. У такій ситуації суб’єкт управління не стимулює отримувачів субсидій до захисту своїх економічних інтересів самостійно, зокрема самостійно забезпечити реалізацію своїх потреб в енергетичних ресурсах за рахунок зменшення обсягів енергоспоживання, використання відновлюваних, чистих джерел енергії тощо.

З точки зору дослідження суб’єктивних передумов виникнення енергетичної бідності, варто зосередити увагу також і на “поведінку” споживачів енергетичних ресурсів, як одного із учасників енергетичного ринку. В умовах трансформації в Україні системи взаємовідносин в енергетичному секторі від пострадянської до ринкової моделі функціонування, що супроводжується встановленням ринкових цін на енергетичні ресурси для всіх категорій споживачів на внутрішньому ринку, останні все ще керуються патерналістськими очікуваннями. Це стосується перш за все переконання

споживачів у тому, що держава зобов'язана забезпечити порівняно дешеве постачання енергетичних ресурсів, відкидаючи потребу в захисті своїх прав перед постачальниками енергетичних ресурсів та використовувати інструменти, що спрямовані на поступове зниження енергоспоживання та використання чистих джерел енергії.

Яскравим прикладом такої поведінки є стан створення об'єднань співвласників багатоквартирного будинку (ОСББ) у житлово-комунальній сфері як інституту, спроможного взяти на себе відповідальність за стан задоволення енергетичних потреб населення у трикутнику “держава – виробник – споживач”. Станом на кінець 2017 р. лише 16,2 % багатоквартирних будинків в Україні об'єдналися в ОСББ [13]. При цьому ОСББ визначено ключовим учасником програми Фонду енергоефективності, який надаватиме кошти для реалізації проектів термомодернізації, впровадження ефективних систем моніторингу та управління, встановлення ефективних опалювальних та охолоджувальних систем та обладнання, а також заміну наявних систем та обладнання на більш ефективне. Це головним чином свідчить про те, що населення не готове взяти на себе частку відповідальності за реалізацію власних потреб в енергетичних ресурсах.

У державах-членах Європейського Союзу, де функціонує модель лібералізації ринку з впровадженими ринковими цінами для всіх категорій споживачів на внутрішньому ринку населенням досить активно використовуються інструменти, що направлені на підвищення енергоефективності будівель та використання чистих джерел енергії [15], що стримує надмірне енергоспоживання населенням. Натомість в Україні споживання в деяких областях України теплової енергії перевищує показники країн-членів ЄС більш ніж на 60 %.

Але існуюча модель організації взаємовідносин у трикутнику “держава – виробник – споживач”, за якої захист вразливих споживачів енергоресурсів відбувається на основі компенсації витрат населення та спрямування бюджетних коштів для “субсидування населення” до постачальників енергетичних послуг спростовує стимули для впровадження різних інструментів зі скорочення споживання енергетичних ресурсів отримувачами субсидій.

Як стверджують автори монографії “Світова гібридна війна: український фронт” [10] модель контролю держави за функціонуванням енергетики, що існувала протягом 1992 – 2014 рр. зумовлювала недоцільність підвищення ефективності енерговикористання національною економікою (у тому числі і населенням) та блокувала заінтересованість виробників енергоресурсів до ефективності діяльності.

Функціонування такої моделі на енергетичному ринку призвело до значних втрат енергії при виробництві та транспортуванні, що надто високі та незмінно зростають, при цьому енергоспоживання населення залишається на досить високому рівні. Свідченням цьому є скорочення споживання енергоресурсів (в 2015 р. на 35,4 % у порівнянні з попереднім роком), яке відбулося головним чином за рахунок скорочення промислового виробництва. Зокрема, у побутовому секторі за даними Енергетичного балансу України споживання енергетичних ресурсів зменшилося з 20384 тис. т нафтового еквівалента у 2014 р. до 16554 тис. т н.е. у 2015 р., натомість в промисловості – з 20570 тис. т н.е до 16409 тис. т н.е у 2015 р. У 2016 р. споживання природного газу зменшилося на 2 %, а електроенергії на 0,4 %, натомість споживання населенням природного газу збільшилося на 5 % [3].

У ситуації, коли субсидування населення здійснюється через перерахування коштів (“субсидій”) на адресу постачальників енергетичних послуг не існує стимулів останніх до впровадження змін що стосуються підвищенні ефективності їх діяльності. Безперечно, прийняття Законів України “Про ринок природного газу” та “Про ринок електричної енергії” стало значним здобутком щодо лібералізації ринку енергоресурсів, що передбачає створення ефективного конкурентного середовища. Водночас із визначенням умов створення ефективного конкурентного середовища на ринку природного газу та електричної енергії цими правочинами закріплено права та порядок захисту вразливих споживачів, але не реалізуються інструменти щодо отримання вразливими споживачами інформації про тарифи та їх порівняння, а також вибір постачальника за вигідними умовами [8; 7]. Натомість у країнах ліберальною моделлю енергетичного ринку [12] споживачі енергетичних ресурсів, що можуть зазнати енергетичної бідності забезпечується можливість обирати постачальника енергоресурсів з можливістю змінювати його в будь-який час.

Сьогодні при встановленні ринкових цін на енергетичні ресурси для всіх категорій споживачів, домогосподарства все ще не мають змоги обирати постачальника енергоресурсів, отримувати інформацію про чітко роз'яснені тарифи постачальників енергоресурсів для їх порівняння, а вразливі споживачі – рекомендації з вибору постачальника за найбільш вигідними умовами.

За твердженням дослідників [12; 11] ситуація, коли на практиці не існує послідовності дій та наполегливості щодо перетворення “старої практики” (пострадянська модель регулювання енергетичного сектору) на “нову” (модель відкритих, конкурентних ринків) ставить під сумнів саму можливість трансформації моделі взаємовідносин в енергетичному секторі. На їх думку, відсутність

істотного прогресу чи послідовності дій свідчить про існування середовища, яке “підтримує” існування відповідної моделі організації життєдіяльності суспільства та управління енергетичним сектором країни.

За такої моделі існує “коаліція владних груп”, (вважається, що такий стан є своєрідним, “нормальним” в історії людства) котра зайнявши управлінські позиції, прагне отримати максимальну користь із здобутих позицій та обмежує право доступу до економічної й політичної діяльності інших членів суспільства. При цьому “коаліція владних груп” визначає можливість реформування відповідного інституційного середовища. Дослідники зазначають, що організаційно-інституційна система взаємовідносин в енергетичному секторі України принципово залишається незмінною, а суб’єкт управління не має внутрішньо зумовленої готовності забезпечити довгостроковий, стабільний, цілеспрямований вплив на об’єкт управління з метою приведення його в новий стан.

Більше того, є всі підстави стверджувати, що наявна ситуація фрагментарності та непослідовності дій щодо реформування взаємовідносин між виробниками енергетичних ресурсів та їх споживачами на основі нових ринкових принципів створює додаткову передумову виникнення енергетичної бідності. Це супроводжується суб’єктивними чинниками та відображає принципову позицію суб’єкта управління до “затягування” відмови від можливості адміністративно регулювати рух коштів на енергетичному ринку (так звані “субсидії населення” у спосіб використання інструментів захисту вразливих споживачів).

Отже, успішність розробки відповідних програм та національних планів щодо подолання енергетичної бідності залежить перш за все від адекватного відображення в цілях та механізмах їх реалізації реальних передумов виникнення енергетичної бідності, як об’єктивного, так і суб’єктивного характеру. Безумовно, об’єктивною передумовою виникнення енергетичної бідності є нерівність доходів населення, що виступає домінантою як в Україні, так і в інших країнах в котрих існує модель лібералізації енергетичного ринку.

Політика соціального патерналізму, що існувала в українському суспільстві протягом 1992 – 2014 рр., фактично породила традицію, як своєрідну норму, за якої переважна більшість населення не готове взяти на себе частку відповідальності за реалізацію власних потреб в енергетичних ресурсах. Такий стан породжує ситуацію за якої населення не бажає використовувати інструменти, що спрямовані на поступове зниження енергоспоживання та використання чистих джерел енергії, а віддає перевагу соціальному забезпеченню. Але на сьогодні українському суспільству необхідно усвідомити, що збільшення обсягів надання соціального забезпечення “відволікає” спрямування бюджетних коштів та сприяє зростанню соціальної напруженості, погіршення стану енергетичного сектору тощо.

Функціонування моделі субсидування населення через перерахування коштів на адресу постачальників енергетичних послуг підвищує зацікавленість останніх у збільшенні споживання, а також нівелює заінтересованість виробників енергоресурсів до ефективності діяльності. Тим самим відбуваються значні втрати енергії при виробництві та транспортуванні, що надто високі та незмінно зростають, а енергоспоживання населення залишається на досить високому рівні.

Разом з тим, як засвідчує позитивний досвід держав-членів Європейського Союзу, поряд із лібералізацією цін на енергетичні ресурси, важливу роль відіграють заходи держави щодо впровадження низки заходів, які, зокрема, дають змогу обирати постачальника енергоресурсів, отримувати інформацію про їх тарифи (для їх порівняння), а також ті чи інші рекомендації щодо вибору постачальника.

Окремо варто акцентувати увагу на тому, що імітація, відсутність наполегливості та послідовності окремих дій через існування “коаліції владних груп” в процесі “наближення” до нових моделей управління на ринкових умовах створює значний ризик неможливості реалізувати населенням свої потреби в енергетичних ресурсах.

### **1.11. Соціо-енерго-еколого-економічна система промислового регіону: аспекти енергетичної безпеки**

© Дубницький В. І.

*д.е.н., професор, професор кафедри теоретичної та прикладної економіки,  
Український державний хіміко-технологічний університет, м. Дніпро, Україна*

© Дробот С. А.

*генеральний директор концерну “Ядерне паливо”, м. Київ, Україна*

Сучасна національна економіка України, особливо в рамках старопромислових регіонів, характеризуються великими ресурсо-поглинаючими виробництвами, розвиток яких, з одного боку, призводить до економічного розвитку територій, а з іншого – тягне за собою серйозні соціальні,

енергетичні та екологічні негативні тенденції, які проявляються в незбалансованій експлуатації природно-ресурсного потенціалу, порушення екологічних систем внаслідок техногенного та антропогенного впливу на навколишнє середовище. Нарощування енерго-екологічних проблем поряд із загальним соціально-економічною кризою в Україні активізувало проблему реструктуризацію і модернізацію соціо-еколого-енерго-економічного розвитку промислових регіонів країни і вимагає детального аналізу регіональної системи з позиції стійкості, в тому числі, можливості забезпечення економічної безпеки в сукупності забезпечення енергетичної та екологічної безпеки.

Протиріччя між суспільним прагненням до охорони навколишнього середовища і індивідуальними ринковими потребами зумовили формування соціо-енерго-еколого-економічної системи. У зв'язку з цим все більш актуальною стає оцінка і прогнозування енергетичної безпеки яка складається в рамках промислового регіону соціально-енерго-еколого-економічної системи, а також вивчення характеру і методів трансформації цієї системи, в тому числі, в контексті забезпечення енергетичної безпеки.

Соціо-енерго-еколого-економічні системи (СЕЕЕС) виходячи з назви, є збалансований механізм, протиріччя в якому взаємовиключаються. На розвиток таких систем багато в чому впливають енергетичні, екологічні та економічні чинники впливу, які, хоча і є визначальними, а й часто конфліктують між собою (рис. 1.18). На думку автора дослідження О. В. Бружуковой, як система соціо-енерго-еколого-економічна співтовариства багатовимірні і неоднорідні і визначити її межі можна лише з позиції життєдіяльності антропогенного чинника [3, с. 12].

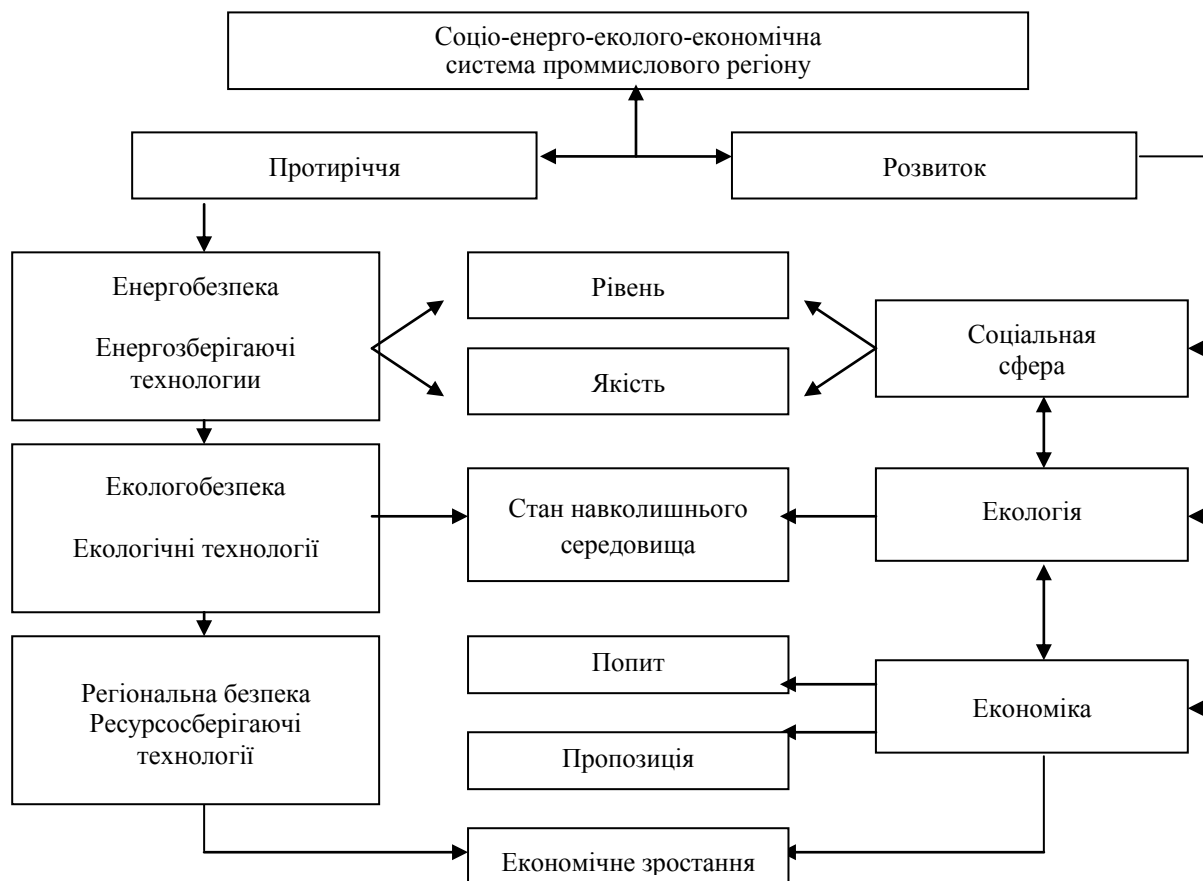


Рис. 1.18. Концепт-умови розвитку соціо-енерго-еколого-економічної системи промислового регіону  
Джерело: авторська розробка

Відмінною особливістю досліджуваного об'єкта дослідження, в якості якого авторами визначено промисловий (старопромисловий) регіон, є, що оцінка його СЕЕЕС можлива лише із застосуванням багатоаспектного підходу, який передбачає дослідження впливу таких факторів, як соціально-екологічний розвиток, економічне і енергетичні особливості, виробничий потенціал територій промислового регіону і т.д. Причому, слід зазначити, що крім економічного, фінансового та соціально-екологічного впливу на розвиток регіону в цілому, важливе значення має енергетичний фактор.

На сьогоднішній момент практично обґрунтовано, що пріоритетним напрямком вивчення СЕЕЕС для умов промислових регіонів є енерго-екологічне, як системоутворюючі. У зв'язку з цим дещо змінюється і трактування визначення системи в цілому. На наш погляд в складі СЕЕЕС промислового регіону можна виділити належні підсистеми: промислово-виробнича, соціальна, природно-ресурсна, виробничо-інфраструктурна, соціо-еколого-енерго-інфраструктурна (рис. 1.19).

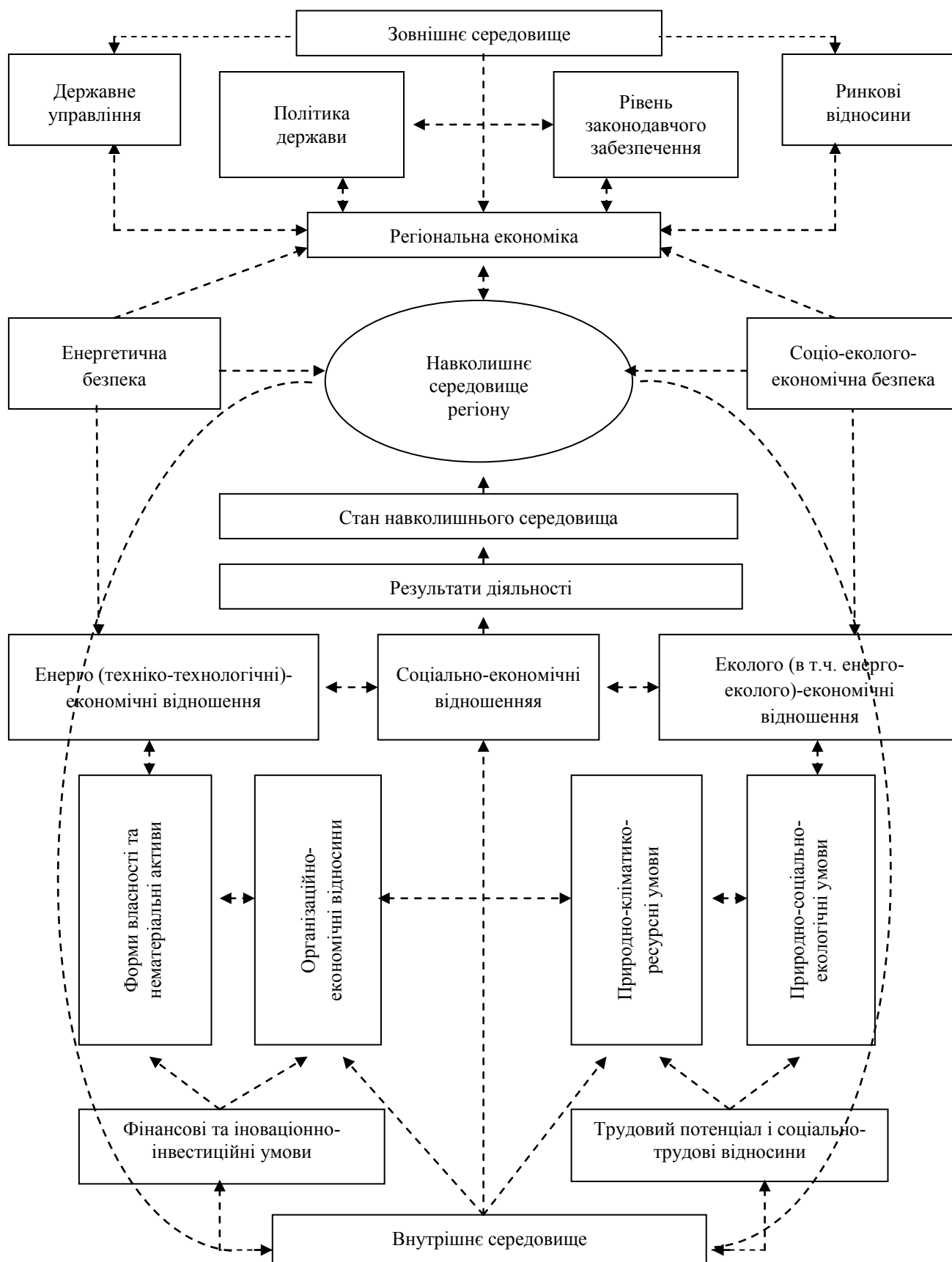


Рис. 1.19. Концепт структура соціо-енерго-еколого-економічної системи промислового регіону  
Джерело: авторська розробка

Одним з найважливіших факторів стійкості системи соціальних, економічних і екологічних параметрів, що визначають аспекти життя населення і показники ефективності управління в рамках промислових регіонів, є забезпечення енергетичної безпеки, як найважливішого компонента системи економічної безпеки територій регіону.



Існують ряд причин, які обумовлюють актуальність розробки і удосконалення методів і моделей дослідження енергетичної безпеки суб'єктів промислового та інфраструктурного комплексів регіонів, а саме:

– зросла регіоналізація економіки, в т.ч. в рамках процесу децентралізації привела до порушення міжтериторіальних пропорцій економічного розвитку регіонів, що в тому числі і стало причиною виникнення депресивних територій. Причому, ця обставина негативно вплинула на сталий розвиток навіть економічно розвинених промислових регіонів, оскільки, стаючи донорами, вони тим самим підвищували ризик виникнення загроз енергетичній безпеці;

– ослаблення міжрегіональних зв'язків, особливо виробничих, руйнування системи міжрегіонального поділу праці як наслідок посилення сепаратистських тенденцій окремих регіонів України, неминуче спричинило за собою посилення загроз енергетичній безпеці.

З метою визначення ресурсно-факторної бази управління енергетичним потенціалом в рамках промислових регіонів необхідно визначити комплекс внутрішніх чинників СЕЕЕС, що відбивають, з одного боку, комплексність і специфіку сфери енергетичної безпеки (ЕнБ), за допомогою впливу на які, з іншого боку, було б можливо впливати на енергетичну безпеку з метою її забезпечення і підвищення.

Отже, на думку авторів роботи [2, с. 24], сукупність виявлених чинників стає джерелом реформування системи управління енергетичною безпекою в умовах промислового регіону.

На основі аналізу факторів може бути сформовано “ядро розвитку” енергетичного потенціалу, як території регіону, так і в цілому, промислового регіону, яке включає групи факторів, що дозволяють зробити диференційовану оцінку конкретної СЕЕЕС регіону (внутрішні фактори), а також врахувати її ресурси розвитку. Очевидно, що управління кожним фактором окремо може відрізнитися від управління ними в комплексі і вимагає застосування різних методологічних і методичних підходів.

Складність оцінки ЕнБ промислових регіонів в довгостроковій перспективі, на думку С. І. Борталевич, пояснюється багатоваріантністю розвитку і специфіки економіки регіону, територіальною розподіленістю паливно-енергетичного комплексу, становленням і подальшим розвитком ринкових відносин в енергетиці, складністю і багатогранністю взаємодій суб'єктів енергетики між собою, зі споживачами енергії і паливно-енергетичних ресурсів, з органами державної влади [2, с. 34].

В даний час при оцінці ЕнБ, як правило, використовуються методи індикативного аналізу. Велика увага до питань систематизації та ідентифікації факторів ЕнБ, в тому числі в умовах промислових регіонів, обґрунтуванню принципів використання моніторингу енергетичної безпеки з метою ідентифікації існуючих і очікуваних загроз ЕнБ приділено в роботах М. П. Барновалова [1], В. Г. Зухвалого [4], П. В. Дружиніна, А. П. Щербака [5], І. М. Мазур [7; 8], Р. А. Тимофєєва [9], Я. В. Шевчук [10].

Оцінка енергобезпеки регіонального соціально-економічного розвитку передбачає використання системного підходу, інтеграції різних неформалізованих (логічних) методів. З урахуванням вищевикладеного представляється, що підхід до оцінки енергетичної безпеки розвитку соціально-економічної системи регіону в довгостроковій перспективі повинен бути заснований на поєднанні різних методів аналізу, прогнозування та оцінки, а саме:

1) системного підходу, який забезпечить комплексність дослідження ТЕК як найважливішої частини соціально-економічної системи регіону, а його енергетичного потенціалу – як найважливішого елемента ресурсного потенціалу розвитку;

2) методів аналізу звітності про стан енергетичної безпеки об'єкта або системи, необхідних для скан-аналізу для стану ТЕК регіону, виявлення тенденцій і проблем його розвитку;

3) методу ієрархій, який дозволить вибрати пріоритетні сценарії управління розвитком ТЕК регіону з позиції підвищення рівня енергетичної безпеки в довгостроковій перспективі (рис. 1.20);

4) методу розстановки пріоритетів, що дозволить визначити вплив окремих управлінських впливів на фактори енергетичної безпеки.

На рис. 1.20 представлений концептуальний підхід до визначення ієрархічних рівнів енергетичної безпеки регіону.

Слід взяти до уваги, що в реальних умовах промислового регіону, внутрішні і зовнішні умови ніколи не бувають стабільними і стійкими, а значить саме поняття “стан захищеності” має динамічний зміст. Умови і фактори можуть змінювати як самі загрози енергетичній безпеці, так і ймовірність їх настання. Але поняття “ядро” енергетичної безпеки регіону ґрунтується на стабільному каркасі – об'єктах і цілі енергетичної безпеки. Але, на наш погляд, при будь-якому підході до визначення взаємозв'язків між енергетичною і економічною безпекою повинна враховуватися залежність території (регіону) від зовнішніх первинних енергоджерел. В цілому загрози енергетичній безпеці в рамках діяльності промислового регіонального комплексу умовно можна поділити:

– зовнішні і внутрішні;

– природні та техногенні (в контексті компоненти технологічного типу);

– пов'язані з неоптимальним управлінням енергосистеми (в т.ч. реакції мережі енергопостачання споживачів на загрози технологічного типу).



Рис. 1.20. Ієрархічні рівні оцінки енергетичної безпеки регіону

*Джерело: авторська розробка*

Часто складно розмежувати загрози енергетичній безпеці та чинники дестабілізації, як вже зазначалося, багато дослідників до погроз (прямого характеру) для енергетичного сектора промислового регіонального комплексу відносять високий знос основних засобів. Але цей аспект можна трактувати як один з факторів, що підвищують ціни на енергоресурси (як для промисловості так і для населення). В результаті, на думку В. В. Карпова і Р. Ю. Сіманчева, виникає загроза надмірного підвищення витрат в енергетичному сегменті регіональної інфраструктури і, як наслідок зниження конкурентоспроможності регіону, як на внутрішньому так і на світових енергетичних ринках [6, с. 33].

Якщо абстрагуватися від об'ємного переліку загроз енергетичній безпеці регіонів і всієї складності їх взаємовпливу доцільно розглянути ключові чинники мети енергетичної безпеки – забезпечення обґрунтованих потреб споживачів території в енергії.

Пропонується методичний підхід до розробки моделі реакції мережі енергозбереження на загрози енергетичній безпеці регіону по компоненті технологічного типу.

При вирішенні задачі забезпечення споживачів деяким однорідним енергоресурсом головним питанням є забезпечення адекватної реакції мережі на загрози технологічного типу. Як умова позначимо, що є мережа зв'язків, що забезпечує споживачів енергоресурсом, виробленим постачальниками. Безліч споживачів будемо позначати через  $N$ , безліч постачальників – через  $M$ . Обсяги споживання  $b_j, j \in N$ , і виробництва  $a_i, i \in M$  відомі. При цьому виконується умова балансу:

$$\sum_{i \in M} a_i = \sum_{j \in N} b_j, \quad (1.1)$$

Дану мережу зручно представляти в відеоорієнтованого графа з безліччю вершин  $M \cup N$  і безліччю дуг  $EG = \{i, j | i \in M \cup N, j \in N\}$ . Цей граф будемо позначати буквою  $G$ . При цьому всі вершини з  $M$  мають тільки виходять дуги, орієнтації дуг між вершинами з  $N$  визначаються напрямками потоків енергоресурсу по мережі  $G$ . Пропускні здатності дуг мережі будемо вважати достатніми для потоку будь-якої величини. Нехай  $x_{ij} \geq 0$  – потік енергоресурсу, що йде по дузі  $ij \in EG$ . В силу наявного умови балансу подана мережа  $G$  повинна задовольняти рівнянням балансу:

$$\sum_{i|ij \in EG} x_{ij} = a_i, i \in M, \quad (1.2)$$

$$\sum_{i|ij \in EG} x_{ij} = b_j + \sum_{i|ij \in EG} x_{ij}, j \in N, \quad (1.3)$$

У даній роботі розглянута загроза різкого зменшення обсягу виробництва (аж до нуля) у постачальника. Назвемо її “загроза постачальнику”. Для математичного опису цієї ситуації введемо параметри  $p_i, i \in M$  характеризують ймовірність реалізації загрози для пункту виробництва  $i \in M$ . При цьому даний параметр можна розуміти так, що після реалізації загрози обсяг виробництва в пункті  $i \in M$  став рівним  $(1-p_i)a_i$ .

Можливі й інші типи загроз. Наприклад, порушення будь-якого існуючого каналу зв'язку в мережі  $G$ . У цьому випадку обсяги виробництва енергоресурсу не змінюються, однак в графі  $G$  зникає дуга. Але тоді в пункті виробництва, що є початком шляху, що містить ліквідовану дугу, виникає надлишок ресурсу, а у всіх пунктах споживання, що лежать на цьому шляху після кінцевої вершини віддаленої дуги, виникає нестача ресурсу. Як реакція на загрозу постачальнику пропонується ввести нову групу об'єктів – пункти резервного зберігання енергоресурсу. Безліч пунктів резервного зберігання позначимо через  $T$ . Будемо вважати, що місця розташування резервних пунктів зберігання визначені апіорі. Крім того, через  $f_{sj}, s \in T, j \in N$ , будемо позначати ваги зв'язків між пунктами резервного зберігання і споживачами.

В цілому пункт резервного зберігання відрізняється від пункту виробництва тим, що останній здійснює безперервне постачання енергоресурсу, а пункт резервного зберігання постачає ресурс тільки в період ліквідації наслідків реалізованої загрози. Інакше кажучи, якщо “поломка” пункту виробництва чи зв'язка не буде усунена в заданий час, то запас енергоресурсу в пункті зберігання може вичерпатися, і даний пункт резервного зберігання перестає бути таким, зникає.

Призначення пунктів резервного зберігання полягає в тому, що в разі нестачі енергоресурсу у споживача ми маємо миттєву можливість поповнення на певний час цієї нестачі з пункту резервного зберігання.

Далі побудована математична модель, що дозволяє вирішувати наступні завдання при реалізації даної загрози. По-перше, не модифікувати наявну мережу  $G$ , повністю використовувати її можливості, мати витрати тільки на встановлення додаткових зв'язків між пунктами резервного зберігання і споживачами. По-друге, визначити обсяги ресурсу, які повинні бути в пунктах резервного зберігання для адекватної реакції на загрози. По-третє, мінімізувати вартість додаткових зв'язків між пунктами резервного зберігання і споживачами.

Нехай реалізована загроза постачальнику. При цьому, як уже було зазначено, обсяги виробництва в пунктах  $i \in M$  стали рівними  $(1-p_i)a_i$ . Якщо загроза не торкнулася пункт  $i$ , то  $p_i = 0$ , якщо зруйнувала повністю, то  $p_i = 1$ . При цьому величини  $x_{ij}$  потоків, що йдуть по каналах зв'язку в мережі  $G$ , зміняться.

Для зручності позначень введемо в розгляд повний двочастковий орієнтований граф  $H$  з частками  $T$  і  $N$ . Безліч дуг графа  $H$  позначимо через  $EH$ , вони орієнтовані з  $T$  в  $N$ .

Введемо в розгляд величини, які потрібно буде визначити:

- $u_s$  – обсяг ресурсу, що зберігається в пункті резервного зберігання  $s \in T$ ;
- $y_{ij}$  – потік по дузі  $ij \in EH \cup EG$  після введення в дію пунктів резервного зберігання.

Після введення в дію пунктів резервного зберігання наша мережа розширюється: до мережі  $G$  повністю або частково додається мережу  $H$ . Потік ресурсу в мережі  $G \cup H$  буде тепер бути сумою двох потоків –  $x$  і  $y$ . Потік  $x = (x_{ij}, ij \in EG)$  – це та частина ресурсу, яка виходить від постачальників, потік  $y = (y_{ij}, ij \in EH \cup EG)$  – з пунктів резервного зберігання. Іншими словами, пункти резервного зберігання починають грати роль постачальників. Відзначимо, що після реалізації загрози значення потоку  $x$  будуть відрізнятися від початкових, так як сумарний обсяг поставленого з пунктів виробництва ресурсу зменшиться і стане рівним:

$$\sum_{i \in M} (1-p_i)a_i < \sum_{j \in N} b_j.$$

Звідси відразу виходить сумарний обсяг ресурсу, належного зберігатися в пунктах резервного зберігання:

$$\sum_{s \in T} u_s = \sum_{i \in M} p_i a_i. \quad (1.4)$$

Відповідно зміняться рівняння балансу. Потік ресурсу, що виходить від постачальників, буде відповідати системі рівнянь:

$$\sum_{ij \in EG} x_{ij} = (1 - p_i) a_i, i \in M, \quad (1.5)$$

а потік, що виходить пунктів резервного зберігання, – системі рівнянь:

$$\sum_{j \in N} y_{sj} = u_s, s \in T. \quad (1.6)$$

Системи (1.5) і (1.6) в сукупності є аналогами системи (1.2). Аналогом системи (1.3) стане система рівнянь:

$$\sum_{i \in M} x_{ij} + \sum_{s \in T} y_{sj} + \sum_{i \in N} (x_{ij} + y_{ij}) = b_j + \sum_{ij \in EG} (x_{ij} + y_{ij}), j \in N. \quad (1.7)$$

Дійсно, перший блок доданків в лівій частині описує кількість ресурсу, що надходить споживачеві від постачальника, другий блок доданків – ресурс, що надходить з пункту резервного зберігання, доданок виду  $(x_{ij} + y_{ij})$  описує сумарний потік, що йде по каналу зв'язку між споживачами в вихідній мережі  $G$ .

Для мінімізації витрат на зв'язку між пунктами резервного зберігання і споживачами побудуємо цільову функцію, яку потім потрібно буде додати до моделі (1.4) – (1.7). Визначимо булеві змінні,  $z_{sj}, sj \in EH$ , в такий спосіб:  $z_{sj} = 1$ , якщо по дузі  $sj$  в мережі  $H$  є потік енергоресурсу;  $z_{sj} = 0$ , якщо по дузі  $sj$  потоку немає. Тоді гарантувати те, що при наявності потоку по дузі  $sj$  змінна  $z_{sj}$  прийме значення 1, можна за допомогою обмежень:

$$y_{sj} \leq K z_{sj}, z_{sj} \in \{0, 1\}, sj \in EH, \quad (1.8)$$

де  $K = \max \{b_j, j \in N\}$ .

Тепер, згадавши, що  $f_{sj}, sj \in EH$ , отримуємо цільову функцію моделі:

$$R(z) = \sum_{s \in EH} f_{sj} z_{sj} \rightarrow \min. \quad (1.9)$$

Отже, обмеження (1.4) – (1.8) разом з цільовою функцією (1.9) дають модель частково-цілочисельного лінійного програмування, що мінімізувала витрати на побудову додаткових зв'язків між пунктами резервного зберігання енергоресурсу і споживачами. Нехай  $(\bar{z}, \bar{u}, \bar{x}, \bar{y})$  – рішення задачі (1.4) – (1.9). Практична інтерпретація отриманих значень змінних така. Канал зв'язку між пунктом резервного зберігання  $s$  і споживачем  $j$  встановлюється тоді і тільки тоді, коли  $\bar{z}_{sj} = 1$ . Кількість ресурсу, що йде по цьому каналу, так само  $\bar{y}_{sj}$ . Відповідно, в силу обмежень (1.7),  $\bar{u}_s$  є кількість ресурсу, належного перебувати в пункті резервного зберігання  $s$ .

Отже, проблематика енергетичної безпеки вивчається багатьма фахівцями, однак, у великій кількості робіт загрози енергетичній безпеці на рівні промислових регіонів не структуровані, що викликає зустрічні питання. Викладений методичний підхід до розробки моделі реакції мережі енергопостачання на загрози енергетичній безпеці регіону по компоненті технологічного типу дозволяє сформувати основи систематизації загроз енергетичній безпеці, що враховують суб'єкти енергетичної безпеки (де, об'єкт ЕнБ – об'єкти енергетики і її інфраструктура, предмет ЕнБ – управлінські та виробничі процеси видобутку і доставки енергоресурсів споживачам, а суб'єкти ЕнБ – регіони і підприємства) і наслідки від настання загроз.

При цьому, серед існуючих загроз енергетичній безпеці позначена загроза різкого зменшення виробництва енергоресурсів і запропонована математична модель, що дозволяє розрахувати необхідний запас енергоресурсу в пунктах резервного зберігання і визначити мережу додаткових каналів зв'язку, а також мінімізувати витрати на побудову мережі додаткових каналів. Слід зазначити, що найбільш “гонким” місцем моделі є параметри  $p_i$ , які носять імовірнісний характер і вимагають, в реальних умовах, експертного підходу для їх визначення.

Проблема досягнення енергетичної незалежності є актуальним завданням енергетичної політики не тільки для держав з перехідною економікою, до яких належить Україна, а й для багатьох країн світу.

В рамках соціо-енерго-еколого-економічної системи функціонує в умовах промислових регіонів підвищити рівень енергетичної безпеки можливо за рахунок здійснення різноманітних заходів, спрямованих на підвищення енергоефективності регіональної економіки і досягнення збалансованого розвитку всіх компонентів регіонального інфраструктурного комплексу.

Також важливий аспект пошуку альтернативних постачальників енергоносіїв, в тому числі здатних знизити навантаження на навколишнє середовище території промислового регіону.

Проблема підвищення ефективності процесу регулювання соціо-енерго-еколого-економічної системи на рівні промислових регіонів важлива для економіки країни і тому вимагає подальших досліджень.

### 1.12. Енергозберігаюча стратегія завдяки економному використанню енергоресурсів при проведенні досліджень продуктивних свердловин

© Акульшин О. О.

*д.т.н., заступник голови правління з наукової роботи Українського  
нафтогазового інституту (ПАТ "УКРНГГ"), м. Київ, Україна*

© Рой М. М.

*к.т.н., доцент кафедри обладнання нафтових і газових промислів,  
Полтавський національний технічний університет ім. Юрія Кондратюка, м. Полтава, Україна*

Енергетична безпека країни передбачає її енергетичну незалежність від інших країн як постачальників енергоресурсів. В складних умовах, в яких перебуває зараз Україна, важлива не лише стратегія боротьби за нарощування запасів вуглеводневої сировини, що є досить затратним і тривалим процесом, оскільки запаси її на невеликих і середніх глибинах в основному виявлені і експлуатуються, але і стратегія їх раціонального використання сьогодні і в майбутньому, оскільки нових енергомістких джерел енергії поки що не знайдено.

В умовах глобального науково-технічного прогресу і використання сучасних обчислювальних машин і програмних продуктів різко зростають вимоги до об'єму і якості інформації, що використовуються при прогнозуванні основних показників розробки газових, газоконденсатних та нафтових родовищ. Таку інформацію отримують в тому числі завдяки газогідродинамічним дослідженням свердловин, які проводять як на розвідувальній стадії, так і на стадії експлуатації. В цій ситуації особлива роль належить науковим дослідженням, направленим на розробку таких методів, за допомогою яких можна отримати необхідну інформацію з найменшими затратами сил і засобів на дослідження.

Аналіз робіт, виконаних виробничими підприємствами по освоєнню і дослідженню свердловин після виходу їх із буріння, проведення інтенсифікаційних робіт показують, що середньорічні втрати газу, віднесені до річного видобутку газу, складають не менше 0,2 – 0,3 % [1]. При освоєнні та проведенні досліджень газових свердловин, які не об'єзані зі шлейфом викидної лінії, відбувається випуск газу в атмосферу, що з одного боку означає втрати газу, а з іншого – забруднює навколишнє середовище.

Наприклад, в процесі дослідження традиційним способом свердловин на 5 – 8 режимах (згідно з діючими інструкціями з дослідження свердловин) в умовах відсутності газопроводу на св. № 6, 8, 9, 12, 15 Матвіївської площі, № 1, 2, 7 Абазівської пл., № 38 Чутівської пл. лише на 10 досліджуваних об'єктах спалено в факелах 14 млн. 474 тис. м<sup>3</sup> газу, що еквівалентно спалюванню близько 14 тис. м<sup>3</sup> нафти. Можна уявити втрати газу при дослідженні об'єктів у газових свердловинах по всій Україні.

Отже, об'єм газогідродинамічних досліджень залежить від стадії освоєння родовища. Таких значних стадій у процесі пошуку, розвідки і розробки – три.

1. Дослідження на стадії розвідки родовища для отримання інформації при підрахунку запасів газу, конденсату і нафти (якщо є нафтова об'ємівка).

2. Дослідження на стадії дослідно-промислової експлуатації для отримання додаткової інформації, яка може дозволити зробити уточнення запасів сировини.

3. Дослідження в процесі розробки з метою контролю за розробкою покладу, для вивчення зміни тиску по площі і товщині покладу, просування води в поклад, зміни параметрів вуглеводнів у процесі розробки, встановлення перетоків та виснаження окремих пластів.

Частота досліджень залежить від особливостей родовища, неоднорідності експлуатаційних об'єктів, прийнятої системи розробки і інших факторів.

У процесі розвідки родовища досліджуються всі без винятку свердловини (часто поінтервально) з метою виявлення промислової газонасності. В період дослідно-промислової експлуатації досліджуються всі пробурені розвідувальні і експлуатаційні свердловини. Періодичність досліджень визначаються і встановлюються відповідно до проекту розробки.

Певні труднощі виникають тоді, коли декілька свердловин підключені до одного колектора (шлейфа). Така система як і для свердловин, що не мають об'єздки, призводить до необхідності дослідження свердловин з випуском газу в атмосферу, або ж зупинки всіх свердловин, за виключення досліджуваної.

Отже, задача газогідродинамічних методів дослідження свердловин полягає у отриманні достовірної інформації для підрахунку запасів продукції, проектування і аналізу розробки, експлуатації свердловин, облаштування промислу, обґрунтування технологічного коридору експлуатації свердловин, оцінки ефективності інтенсифікації свердловин і контролю за розробкою родовищ.

Газогідродинамічні методи дослідження свердловин доцільно розділити на дві групи: дослідження свердловин при стаціонарних і при нестаціонарних режимах фільтрації. Дослідження при стаціонарних режимах застосовують з початку 40-х років і досить успішно. Розроблені способи досліджень і методи інтерпретації отриманих при цьому результатів.

Дослідження свердловин при нестационарних режимах фільтрації, які є характерними для високодебітних свердловин, до цього часу не мали способу дослідження та теоретичної основи інтерпретації отриманих фактичних даних. Частково це пов'язано з відсутністю вимірювальних приладів достатньої точності.

Дослідження свердловин незалежно від характеру фільтрації пластового флюїду передбачає відпрацювання 5 – 8 режимів. Процес пуску свердловини і стабілізації тиску і дебіту при цьому, робота свердловини на встановленому режимі, відновлення тиску після закриття свердловини на даній діафрагмі (штуцері) складають один з 5 – 8 режимів.

Якщо свердловина працює на режимі з викидом газу в атмосферу, то це означає, що при роботі свердловини на кожному з 5 – 8 режимів відбуватимуться втрати газу. Якщо спробувати аналогічним способом досліджувати високодебітну газову свердловину, то втрати газу в атмосферу зростуть в рази. При цьому екологічні втрати теж зростуть.

Тому пропонується дослідження свердловин у випадку стаціонарної фільтрації проводити не на 5 – 8 режимах, як це роблять згідно з діючими інструкціями по дослідженню свердловин, а на одному лише режимі і отримувати при цьому значно більше інформації про систему свердловина-пласт, ніж її можливо отримати при дослідженні на 5 – 8 режимах.

Це є принципово іншим підходом до вирішення задачі дослідження свердловин при стаціонарному режимі фільтрації. При цьому пріоритетними є не лише загальноприйняті, а і відмінні від традиційного способу дослідження фізичні показники, на яких ґрунтується методика інтерпретації результатів дослідження. Новий спосіб дослідження газових свердловин у випадку стаціонарної фільтрації пластового флюїду та методика інтерпретації отриманих при цьому даних виконані на рівні патенту і викладені в публікаціях [2; 3].

Але ні у вітчизняній, ні в закордонній науково-технічній літературі не висвітлені технологія і необхідні для її здійснення технічні засоби для дослідження високопродуктивних газових та газоконденсатних свердловин, після зупинки роботи яких тиск відновлюється миттєво. Іншими словами не існувало способу дослідження високодебітних газових та газоконденсатних свердловин не лише на одному режимі дослідження, а й на 5 – 8 режимах.

Тому ця проблема набула вагомого значення і потребувала вирішення в технологічному та методичному плані. Підхід до вирішення проблеми був комплексним, тобто розроблялася не лише технологія, а й технічні засоби, що її забезпечують, та методика проведення інтерпретації отриманих при дослідженні результатів. При цьому вимоги до точності отриманих в результаті математичної інтерпретації результатів були досить високими. Також паралельно вирішувалась задача щодо знаходження способу підрахунку величини попередніх запасів газу, якщо в якості вихідних даних використовувати ті показники, які можуть бути отримані в результаті дослідження свердловини лише на одному режимі.

Авторам вдалося вирішити всі поставлені задачі практично протягом останніх 5 років, хоча напрацювання в цьому напрямку проводились ще раніше. Але систематизація наукових пошуків та їх технологічне і методичне обґрунтування стало можливим лише останніми роками.

В результаті розроблено спосіб дослідження високопродуктивних газових та газоконденсатних свердловин, що характеризуються нестационарною фільтрацією газу чи газоконденсату до вибою свердловини. Спосіб не має аналогів і виконаний на рівні патенту України [4]. Завдяки його застосуванню можливо досліджувати високодебітні свердловини лише на одному нестационарному режимі. Розроблена також методика математичної інтерпретації отриманих при дослідженні даних. Для забезпечення достатньо високої точності отриманих при цьому результатів були задіяні складні математичні методи, такі як диференціальний метод Ю. П. Борисова та метод І. А. Чарного [1]. Для застосування таких методів додатково була вирішена також задача створення математичної моделі, яка покликана їх обслуговувати і базуватися на даних лише одного режиму дослідження.

Це дає відразу кілька позитивних наслідків: економію часу на дослідження, економію часу на проведення великого об'єму математичних розрахунків завдяки використанню математичної моделі, підвищення точності отриманих при цьому результатів і, зрештою, збереження екології. А загалом всі ці наслідки дають значний економічний ефект, оскільки зрозуміло, що вартість проведення досліджень на 5 – 8 режимах і вартість дослідження лише на одному режимі з усіма впливаючими звідси позитивними сторонами зменшується в рази.

Що стосується технічних засобів, то в даний час також ведуться роботи з їх удосконалення для оптимізації процесу дослідження газових свердловин у випадку нестационарної фільтрації газу.

Крім того, вирішувалась ще одна задача, яка пов'язана з результатами газо гідродинамічних досліджень свердловин. Це спосіб визначення технологічного коридору для проведення досліджень та експлуатації свердловин при будь-якому режимі фільтрації отриманої продукції.

Надійність вибраного технологічного режиму експлуатації залежить від достовірності інформації, що отримують при газогідродинамічних та промислово-геофізичних дослідженнях свердловин. Тому при встановленні технологічного режиму експлуатації свердловин використовують дані, накопичені в процесі пошуку, розвідки і експлуатації родовищ шляхом вивчення його геологічного розрізу, проведення газогідродинамічних, газоконденсатних, геофізичних і лабораторних досліджень властивостей пористого середовища і газів, конденсату, нафти і води, що містяться в них. Кількість і якість цих досліджень не завжди відповідають нормам і положенням, дотримання яких за правилами розробки є обов'язковими. Ці відхилення в більшості випадків залежать від специфіки газовидобувної індустрії. Це пов'язано із тим, що газові поклади, як правило, неоднорідні по площі і розрізу, їх ємнісні і фільтраційні параметри визначаються неточно, особливо на ранній стадії розробки, коли відсутня достатня кількість свердловин для отримання інформації. Тому простий і доступний спосіб визначення рамок технологічного коридору дуже актуальний, бо дозволить експлуатувати і досліджувати свердловини в будь-якому режимі, дозволяючи збільшувати дебіти вуглеводнів, зберігаючи при цьому природні властивості продуктивних колекторів. Розробка також виконана на рівні патенту України і на даний час матеріали знаходяться на розгляді в УкрПАТЕНТі.

Окрім того, розроблено спосіб попереднього підрахунку величини початкових запасів газу.

Ця задача вирішується наступним чином:

- спочатку вимірюють сумарний відбір газу за період збудження припливу газу, продувок і дослідження свердловини в атмосферних умовах,  $\Delta V_{\text{ат}}, \text{М}^3$ ;
- потім – початкову величину пластового тиску та величину пластового тиску після дослідження, відповідно  $P_{\text{пл}}, P_{\text{пл1}}, P_{\text{а}}$ ;
- термодинамічну температуру до дослідження і після завершення дослідження,  $T_{\text{пл}}, T_{\text{пл1}}, \text{К}$ ;
- визначають коефіцієнти стисливості газу в пластових умовах до дослідження і після завершення дослідження  $Z_{\text{пл}}, Z_{\text{пл1}}$ , безрозмірний;
- на основі вказаних вихідних даних проводять попередню оцінку величини початкових запасів газу за формулою [5]:

$$v_{\text{ат}} = \Delta V_{\text{ат}} \frac{P_{\text{пл}} \cdot Z_{\text{пл1}} \cdot T_{\text{пл1}}}{P_{\text{пл}} \cdot Z_{\text{пл1}} \cdot T_{\text{пл1}} - P_{\text{пл1}} \cdot Z_{\text{пл}} \cdot T_{\text{пл}}} \quad (1.10)$$

Наведений спосіб підрахунку запасів газу має теоретичне та практичне значення, містить елементи новизни і захищена патентом України [5].

Завдяки застосуванню запропонованої методики розрахунку стало можливим спрощення і скорочення обсягу обчислень, зменшення кількості вихідних даних і підвищення їх доступності, оскільки для їх отримання не є необхідним проведення попередніх геофізичних досліджень. Достатньо провести дослідження газового об'єкту лише на єдиному стаціонарному чи нестаціонарному режимі та зафіксувати всі необхідні показники фізичних величин, які необхідні для застосування методики. Програмний продукт не є складним і потребує інженерних навичок програміста, тому не пропонується в даній публікації. Але він, безумовно, є також елементом оптимізації підрахунку запасів газу в досліджуваному газовому об'єкті.

Перспективність запропонованої методики підрахунку запасів газу полягає в тому, що завдяки відносній простоті вона може використовуватись у промислових умовах для оперативної попередньої оцінки величини початкових запасів газу.

Спосіб і методика інтерпретації результатів дослідження високодебітних свердловин для умов нестаціонарної фільтрації газу чи газоконденсату апробовані у виробничих умовах (на св. № 6 Мар'їнська) і теж показали добрий результат. Зрозуміло, потрібні напрацювання результатів на багатьох свердловинах, щоб впевнено рекомендувати нові способи дослідження, але опрацювання промислових даних дослідження може дати відповідь про ефективність запропонованого способу. На жаль, в нинішніх умовах випробування способів дослідження, технічних засобів для їх здійснення, і інших напрацювань в промислових умовах дуже ускладнені з відомих причин. Але треба прагнути досягати втілення нових підходів в практику розробки геолого-розвідувальних та експлуатаційних об'єктів, оскільки без підтвердження практикою наукові доробки не будуть повноцінними. В цьому відношенні перспективним є напрямок проведення досліджень в розвідувальних свердловинах. Це означає проведення так званої пробної експлуатації свердловин [6]. Складність таких задач безсумнівна. Але вирішення цих задач дозволить проводити дослідження газонасичених пластів лише на одному фактично відпрацьованому режимі в процесі буріння і за отриманими результатами, ще на стадії буріння, визначати подальший напрямок геологорозвідувальних робіт на даній площі, вирішувати питання доцільності спуску експлуатаційних колон у свердловину, зберігаючи при цьому значні кошти і час на проведення геологорозвідувальних робіт, що без сумніву сприятиме підвищенню економічної ефективності випробування свердловин.

В цьому напрямку наукові пошуки проводились і тривають, але це на порядок складніші технології, технічні засоби та підходи в плані їх практичного втілення, тому своє вираження і втілення отримують в майбутніх напрацюваннях.

Завдяки новому способу дослідження газових та газоконденсатних свердловин лише на одному стаціонарному або нестаціонарному режимі дослідження складовими економічного ефекту можна вважати:

- визначення 20 газогідродинамічних параметрів досліджуваних свердловин з підвищеною точністю (аналітично);
- економію часу на відпрацювання одного режиму дослідження порівняно з часом на відпрацювання декількох режимів;
- економію газу, якщо свердловина працювала не в газопровід, а на викид в атмосферу, та збереження екології навколишнього середовища;
- економію часу на виконання математичної інтерпретації результатів дослідження завдяки створеній математичній моделі для розрахунків;
- збереження природного стану довкілля, що є важливим і актуальним для країни і планети.

Вести мову про конкретний економічний ефект у абсолютному вираженні взагалі було б некоректно поставленою задачею. Тому що вартість дослідження свердловин при стаціонарному чи нестаціонарному режимі фільтрації на одному лише режимі дослідження для різних свердловин буде різною. Конкретна свердловина потребує конкретних витрат. Але зрозуміло, що можна говорити про економічний ефект у відносному вираженні. Загальні економічні витрати на дослідження в кілька разів будуть меншими від вартості аналогічних робіт, виконаних іншими можливими підходами і способами, оскільки в разі зменшується кількість режимів досліджень. Тобто вартість робіт з дослідження конкретної свердловини будь-яким традиційним способом необхідно зменшити в 5 разів, і це наближено можна вважати вартістю дослідження за технологією, яка розроблена. Аналогічний технологічний підхід до дослідження нафтових свердловин також можна вважати оптимальним. Методика розрахунку гідродинамічних параметрів нафтових свердловин на даний час знаходиться в стадії розробки, але, без сумніву, вона теж дасть можливість проводити дослідження нафтових свердловин лише на одному режимі дослідження, що буде означати реальний шлях значної оптимізації досліджень свердловин з різним характером флюїдонасичення та з різними властивостями режимів досліджень.

З урахуванням того, що застосування способів досліджень газових чи газоконденсатних свердловин для стаціонарної чи нестаціонарної фільтрації продукції до вибою свердловин лише на одному режимі дають вагомий переваги перед традиційними способами дослідження, було б доцільним більш сміливо робити спроби їх практичного застосування у промисловій практиці. В даний час застосування нового підходу до дослідження свердловин стримується неінформованістю практиків та відсутністю нормативних документів, які б регламентували цей процес. Але є очевидною та значна економія, яку можна було б отримати, застосовуючи способи дослідження газових та газоконденсатних свердловин лише на одному режимі. Це б дозволило зекономити час на дослідження, зменшило б кошти на проведення робіт і найголовніше – підвищило б достовірність отриманої при цьому інформації про досліджувані пласти, а в цілому принесло б галузі значний економічний ефект.

### **1.13. Перспективні напрямки реалізації енергетичної безпеки України**

© **Фесенко І. А.**

*д.е.н., доцент, професор кафедри економіки підприємства та менеджменту,  
Харківський національний економічний університет ім. Семе́на Кузне́ця, м. Харків, Україна*

© **Фесенко М. С.**

*к.т.н., доцент, завідувач кафедри автоматизованого управління технологічними процесами,  
Донбаський державний технічний університет, м. Лисичанськ, Україна*

Ситуація, яка склалася в Україні внаслідок загострення політичного та економічного конфлікту з Російською Федерацією – обмеження доступу до власних первинних енергетичних ресурсів, зокрема вугілля, та до імпортованих – російського газу, потребує термінових змін енергетичної безпеки України, актуалізувалась необхідність вирішення давно існуючих та накопичених проблемних питань в сфері енергетики та визначення подальший дій щодо забезпечення енергетичної безпеки країни вже в нових умовах.

Виходячи із Закону України “Про електроенергетику” енергетична безпека – стан електроенергетики, який гарантує технічно та економічно безпечне задоволення поточних та перспективних потреб споживачів в енергії та охорону навколишнього природного середовища.



Відповідно до цього нормативного документу, основною метою забезпечення енергетичної безпеки держави є задоволення потреб споживачів. Але практика показує, що лише задоволення потреб, не зважаючи на джерела походження, спосіб виробництва та вартість енергії, не може забезпечити енергетичної безпеки країни. Події останніх років це підтверджують.

Україна щорічно споживає близько 210 млн. т у. п. паливно-енергетичних ресурсів і відноситься до енергодефіцитних країн, оскільки покриває свої потреби в енергоспоживанні приблизно на 53 %, імпортує 75 % необхідного об'єму природного газу і 85 % сирової нафти і нафтопродуктів. Така структура ПЕР економічно недоцільна, породжує залежність економіки України від країн-експортерів нафти і газу.

В роботах вчених та практиків існують варіації щодо розуміння сутності енергетичної безпеки країни, одні акцентують увагу саме на забезпеченні економіки України паливно-енергетичними ресурсами (ПЕР), інші – на суверенітеті держави і забезпеченні власними енергоресурсами, треті – економічному та ефективному використанні ПЕР, але більшість, виходячи з самого поняття “безпека”, сходяться в тому, що енергетична безпека – це можливість протистояти загрозам, в даному випадку в енергетичному секторі.

На державному рівні “Стратегією національної безпеки” визначено такі загрози енергетичній безпеці:

- спотворення неринкових механізмів в енергетичному секторі;
- недостатній рівень диверсифікації джерел постачання енергоносіїв та технологій;
- криміналізація та корумпованість енергетичної сфери;
- недієва політика енергоефективності та енергозабезпечення.

А основними пріоритетами забезпечення енергетичної безпеки України є:

– реформування енергетичних ринків, забезпечення прозорості господарської діяльності, конкуренції на цих ринках та їх демонополізація, інтеграція енергетичного сектору України до енергетичних ринків ЄС та системи європейської енергетичної безпеки;

– підвищення енергетичної ефективності та забезпечення енергозбереження;

– диверсифікація джерел і маршрутів енергопостачання, подолання залежності від Російської Федерації у постачанні енергетичних ресурсів і технологій, розвиток відновлюваної та ядерної енергетики з урахуванням пріоритетності завдань екологічної, ядерної та радіаційної безпеки;

– створення умов для надійного енергозабезпечення та транзиту енергоресурсів територією України, захищеності енергетичної інфраструктури від терористичної загрози;

– формування системи енергозабезпечення національної економіки і суспільства в особливий період [8].

У 2015 р. при оновленні “Стратегії національної безпеки” пріоритети в її забезпеченні було змінено відповідно до зміни політико-економічної ситуації в країні.

Аналізуючи ситуацію із забезпеченням прозорості господарської діяльності, конкуренції на цих ринках та їх демонополізація доцільно розглянути власників об'єктів вітчизняної енергосистеми.

Останні двадцять років приватизація енергетичного сектору України призвела до того що в державній власності залишилося не більше 20 % майна обласних енергетичних об'єднань, а приватними власниками енергетичних компаній є тільки кілька осіб, більшість з яких є російськими громадянами. Аналіз показує, що росіянам належить до 60 % акцій українських енергетичних компаній, що в умовах політичного конфлікту з Російською Федерацією виглядає дивно. Їх власність присутня в 17 з 24 облэнерго України. Енергоринок України є монополізованим російськими інвесторами. Недоліком ситуації що склалася, по-перше є те, що електроенергетика в більшій мірі є в приватній власності, що в світовій практиці з точки зору енергетичної безпеки країни є неприпустимим. Так, на одному з засідань Голова Енергетичної ради зауважував, що ніде у світі немає такої ситуації, щоб одна людина володіла хоча б кількома облэнерго. Цивілізовані країни не дають монополізувати свій енергосектор. Ефективними можуть бути різні форми, приміром, у Франції 85 % енергосектору в руках держави, в Німеччині переважає комунальна форма власності, в США – приватна, але там мільйони власників [3]. По друге, приватизована енергосистема України є монополізованою, оскільки знаходиться у власності кількох інвесторів. Та по-третє, монополізованою громадянами країни, про наміри отримання енергетичної незалежності від якої Україна активно заявляє останніми роками в силу відомих причин.

Під впливом цих факторів, рішення, які приймаються відносно подальшого розвитку галузі, не є підтримуючими енергетичну безпеку держави, зокрема через підвищення вартість підключення до електромереж, підвищення тарифів на електроенергію, що ускладнює існування найбільш енергомісткого промислового сектора економіки. Та конкуренції в галузі електроенергетики на енергетичному ринку в Україні не спостерігається.

Основними індикаторами забезпечення енергетичної безпеки дослідники виділяють енергозабезпеченість, залежність від імпорту первинних ПЕР та диверсифікація виробництва електроенергії.

Ступінь забезпечення потреб України в енергоресурсах можна розглянути за наведеною на рис. 1.21.

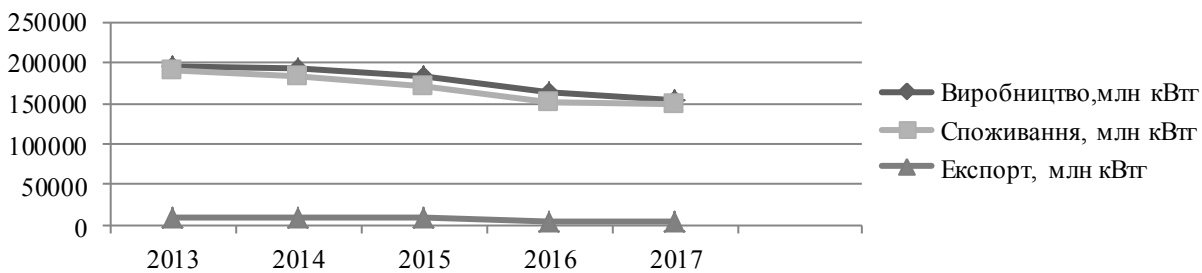


Рис. 1.21. Динаміка виробництва і споживання електроенергії в Україні, 2013 – 2017 рр.

*Джерело: узагальнено авторами за даними [6; 7]*

Україні знаходиться в третій десятці країн світу за обсягами виробництва електроенергії, і за останні 10 років динаміка виробництва електроенергії свідчить про те, що обсяги її виробництва знижувалися та за останні 5 років знизилися на 20 %. Відповідним чином знижувалося й енергоспоживання в країні.

Якщо проаналізувати дані, то можна сказати, що виробництво електроенергії за весь аналізований період покривало власне споживання. Але Україна завжди експортувала та імпортувала електроенергію. Обсяги експорту електроенергії в Україну є незначними.

У 2017 р. Україна купила електроенергії в 49,7 рази менше, ніж продала – в кількості 76996,5 тис. кВтг-год. [4]. Практично всю електроенергію Україна купує в Російській Федерації (98,52 %), а також в Білорусі та Молдові.

Зовсім відмовитися від експорту-імпорту неможливо, скільки ОЕС України з'єднана із сусідніми країнами електромережами різної напруги: з ЄС Російської Федерації, з ОЕС Білорусі, з ЕС Молдови; з енергосистемами УСТЕ. Україна планує відновити продаж електроенергії в Білорусь і Молдову. Поставки в ці країни були припинені в 2014 р. через дефіцит енергетичного вугілля, який йде на потреби теплових електростанцій.

Передбачається організація паралельної роботи з енергооб'єднанням країн Східної та Західної Європи на змінному струмі. Вже зараз Україна з'єднана з Польщею, Словаччиною, Угорщиною та Румунією трьома лініями електропередачі, проте вони відносно невеликого напруги. Питання виходу на європейський енергоринок пов'язаний з вирішення багатьох аспектів, зокрема, з питанням оформлення експорту, питанням визначення вартості електроенергії, оскільки на сьогоднішній день електроенергію для експорту необхідно закуповувати за ціною оптового ринку, повинен відповідати європейському хоча б приблизно і наш внутрішній ринок, щоб могла проводитися вся робота, в тому числі і оформлення перетоків електроенергії. Вхід на будь-який ринок, на думку фахівців, – це досить дорого, адже потрібно отримати на цьому ринку свою частку, знайти своє місце, що вимагає для свого рішення жоден рік. Якщо рухатися в цьому напрямку, років через три Україна могла б зайняти свою нішу на європейському ринку електроенергії [9].

У 2016 р. Україна відмовилася від імпорту з Російської Федерації, а відсутні обсяги електроенергії вона докуповує на енергоринку. Незважаючи на те, що електроенергію Україна не отримує з Російської Федерації, там вона закуповує вугілля для виробництва своєї електроенергії. Через політичну ситуацію Україна втратила доступ до більшості шахт Луганської та Донецької областей, та вимушена закуповувати вугілля у Російській Федерації, США та ПАР. Особливу потребу країна відчуває у коксівному вугіллі та антрацитах.

За підсумками 2017 р. Україна імпортувала вугілля на загальну суму 1,5 млрд. дол. США. Загальний обсяг поставленої в країну вугільної продукції в минулому році (за інформацією Прес-служби Державної фіскальної служби України) склав 15,647 млн. т. З території Російської Федерації поступило біля 60 %, з США – 13 %. При цьому Україна експортувала в 2016 р. 520,585 тис. т кам'яного вугілля та антрациту на 44,762 млн. дол. США.

Такий рівень імпорту вугілля в Україну спостерігається останні 5 років з незначним зменшенням обсягу. Але незважаючи на це, змінилися марки вугілля, що закуповується, якщо раніше здебільшого закуповувалося вугілля коксуючої групи для коксохімічної та металургійної галузі, то тепер закуповуються антрацити для енергетики.

Також проблемами вугільної галузі України залишається збитковість і низька інвестиційна привабливість вуглевидобувних підприємств, неплатежі за відвантажене вугілля, дефіцит платіжного балансу, недосконале ціноутворення, значна заборгованість по платежах до бюджету і по заробітній платі, недолік засобів на розвиток, соціальноекономічні, екологічні і технічні складнощі при ліквідації шахт (розрізів), недостатній рівень техніки безпеки і охорони праці.

В стані зтяжної кризи знаходиться і вітчизняна теплова енергетика. В результаті граничного морального і фізичного зносу, її основні фонди досягли стану, при якому середній ККД українських паротурбінних пилувугільних ТЕС не перевищує 30 %. Тому пріоритетним напрямом розвитку електроенергетики країни має стати широкомасштабне технічне переозброєння діючих ТЕС з метою радикального підвищення їх економічності, ефективності і екологічності. Якщо вже зараз не вжити ефективні заходи по оновленню і модернізації ТЕС, то вже в найближчі 5 – 10 років теплова енергетика стане головним гальмом розвитку економіки України [5].

Проведений аналіз, за даними [6; 7; 9; 11] показує, що структура виробництва електроенергії в Україні значно відрізняється від загальносвітової, європейської, американської чи польської. Це пояснюється історичними та географічними умовами, а саме наявністю гідро, паливних ресурсів, покладів уранових руд та великою концентрацією виробництва, що зумовило побудову розгалуженої мережі різноманітних електростанцій. Така структура була оправдана за часів індустріалізації України в складі СРСР. Проте зараз за умови значного здорожчання та вичерпання власних ресурсів та енергетичного протистояння з Російською Федерацією, така структура не є оптимальною і потребує змін в бік диверсифікації джерел ПЕР та збільшення частки відновлювальних та нетрадиційних енергоресурсів [10].

Основу теплової енергетики України складають 104 енергетичні блоки потужністю 150 – 800 МВт, встановлені на 14 теплових електростанціях, загальною потужністю 28,7 тис. МВт. Нині 90,6 % потужностей, встановлених на ТЕС, вже давно відпрацювали свій розрахунковий ресурс, а 63,9 % з цих потужностей перевищили межу граничного ресурсу і фізичного зносу. Проектним паливом для більшості енергетичних блоків ТЕС (встановлена потужність близько 25 млн. кВт) є вугілля, для меншої частини ТЕС і усіх ТЕЦ – природний газ. Останніми роками теплові електростанції країни щорічно споживали палива від 29,4 до 30,4 млн. т у.п. (всього), в т.ч.: вугілля – від 15,4 до 19,5 млн. т у.п.; природного газу – від 13,8 до 10,5 млн. т у.п. (12,1 – 9,2 млрд. м<sup>3</sup>); мазуту – від 0,2 до 0,4 млн. т у.п. Скорочення об'ємів споживання тепловими електростанціями України природного газу сталося завдяки цілеспрямованій політиці скорочення його використання [5].

Порівняння частки електроенергії, виробленої тепловими електростанціями в Україні та світі представлено на рис. 1.22.

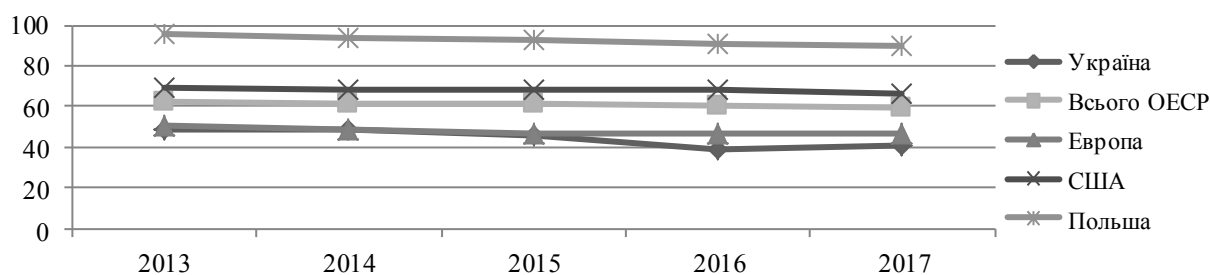


Рис. 1.22. Виробництво електроенергії ТЕС, 2013 – 2017 рр., %

Джерело: узагальнено авторами за даними [11]

Відповідно до розробленої “Енергетичної стратегії України на період до 2030 року” і на подальшу перспективу основу майбутньої енергетики країни складатимуть атомні електростанції. Зараз вітчизняні АЕС поряд з тепловими електростанціями складають найбільшу частку у виробництві електроенергії (рис. 1.22). Порівняно із загальносвітовими тенденціями (рис. 1.23) в Україні атомна енергетика відіграє більш значну роль в енергозабезпеченні країни.

Планується безпечно та економічно доцільне продовження припустимого терміну експлуатації існуючих енергоблоків АЕС приблизно на 15 років, а також передбачається розширення існуючих АЕС. Разом із цим буде проводитися технічне переоснащення існуючих ТЕС, впровадження газотурбінних надбудов, спорудження нових потужностей на базі парогазових установок [2].

Запланований розвиток атомної енергетики пояснюється дешевизною її виробництва, що можна побачити на рис. 1.24. Також атомна енергетика може бути альтернативою забезпечення енергетичної незалежності від Російської Федерації, за умови диверсифікації закупок паливних елементів для енергетичних блоків АЕС або власного виробництва.

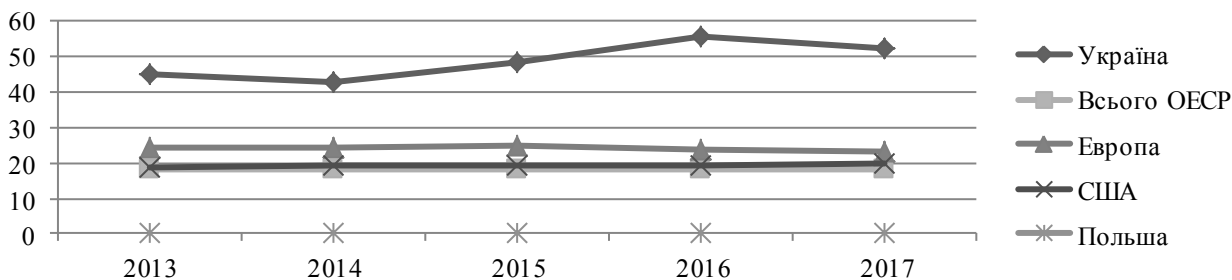


Рис. 1.23. Виробництво електроенергії АЕС, 2013 – 2017 рр., %

*Джерело: узагальнено авторами за даними [11]*

Природний газ розглядається зараз як домінуючий вид палива для світової енергетики на найближчі, принаймні, два десятиліття.

Світові ресурси газу ще досить значні, сучасні технології використання його ефективні і екологічно чисті. Ринок газу в країнах світу досить широкий і стійко розвивається. Зрозуміло, чому доля газу збільшується саме в тепловій енергетиці, де чинники ефективності використання і надійності постачання енергоносіїв мають особливо важливе значення. Це знижує залежність країн від нафти, сприяє диверсифікації постачання енергоносіями, а також підвищенню безпеки енергозабезпечення.

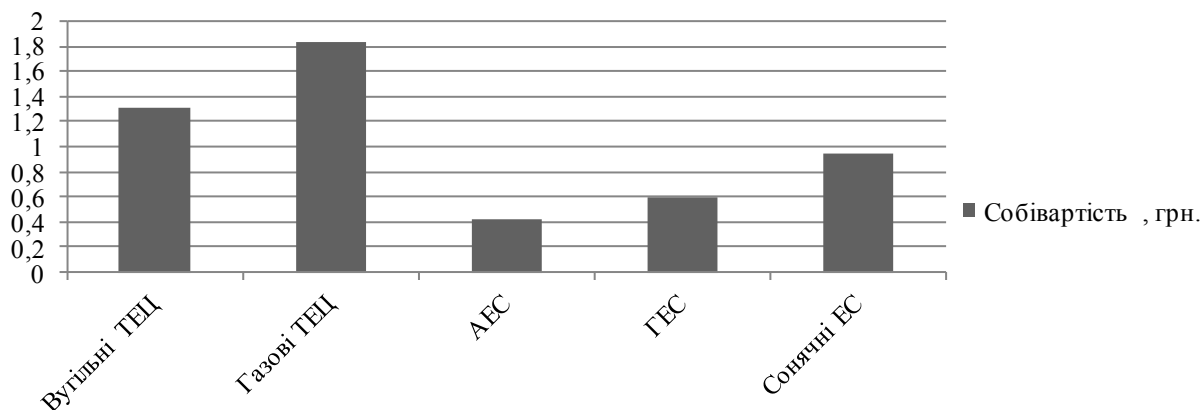


Рис. 1.24. Собівартість виробництва 1 кВт-год. електроенергії на електростанціях України, 2017 р., грн

*Джерело: [1]*

В Україні обсяги споживання імпортованого природного газу в 1,7 рази більші обсягів споживання газу власного видобутку. Відсоток споживання газу в енергетичному балансі України майже удвічі перевищує його частку у світовому паливно-енергетичному балансі (ПЕБ) [10].

Через 10 – 15 років забезпечення країни газом украї ускладниться, і теплову енергетику України доведеться переводити переважно на сучасні технології, базу для яких треба створювати вже зараз.

При цьому слід розглянути доцільність реконструкції застарілих і розкомплектованих ТЕС, а також рівень енергозбереження в Україні. Експерти стверджують, що завдяки підвищенню рівня енергозбереження можна повністю задовольнити потреби країни в енергоносіях за рахунок прибутків за транзит російської нафти і газу територією України [2].

Необхідність скорочення споживання природного газу – одна з найбільш актуальних тем для України, яка знаходиться зараз в складній енергетичній ситуації. Вартість природного газу і постійні “газові війни” з Російською Федерацією, поставили на межі виживання низку галузей економіки України, зокрема хімічні підприємства з виробництва мін. добрив. Тому необхідно терміново знаходити альтернативні джерела енергії і впроваджувати енергозберігаючі технології. Одним з основних шляхів скорочення споживання природного газу в Україні може стати широке застосування технологій виробництва енергії з місцевих видів палива, в першу чергу, таких як біомаса.

Біомаса – четверте за значенням паливо у світі, яке дає близько 2 млрд. т у.п. енергії на рік, що складає близько 14 % загального споживання первинних енергоносіїв у світі (у країнах, що розвиваються, – більше 30 %, іноді до 50 – 80 %).

Виробництво енергії з поновлюваних джерел, у тому числі і з біомаси, як альтернативного джерела, динамічно розвивається в багатьох Європейських країнах. В Україні приблизно з 2020 р. слід передбачити використання замість газу або мазуту, як резервного палива для теплових електростанцій,

альтернативних енергоносіїв, наприклад, генераторного газу або органічних горючих рідин рослинного походження, вироблених, наприклад, з ріпаку [10].

Особливо такий підхід стає актуальним через новий критерій оцінки економічного розвитку країн, що з'явився в останні десятиліття, – це доля енергії, виробленої з нетрадиційних і поновлюваних джерел. У економічно високорозвинених країнах вона досягає від 0,7 % (Велика Британія) до 64,5 % (Ісландія) і має чіткі тенденції до збільшення в майбутньому [12].

Однією з вимог до країн-кандидатів в ЄС є рівень використання поновлюваних джерел енергії не нижче за середньоєвропейський (12 % на 2020 р.) (рис. 1.25). Тому для України, яка має намір інтегруватися в Європу, це є додатковим аргументом на користь активного розвитку поновлюваних джерел енергії, в першу чергу, Оскільки, як можна побачити на рис. 1.25 рівень використання нетрадиційних та відновлюваних джерел в енерговиробництві низький.

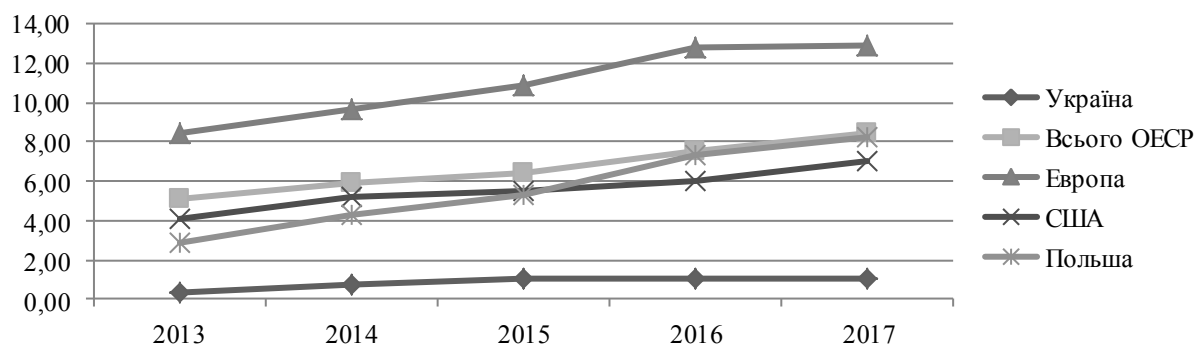


Рис. 1.25. Виробництво електроенергії відновлювальними джерелами, 2013 – 2017 рр., %  
Джерело: узагальнено авторами за даними [11]

Природний потенціал України для розвитку нетрадиційних і поновлюваних джерел енергії прогнозується таким. Висхідок первинного паливно-енергетичних ресурсів і виробництво електроенергії в Україні до 2020 р. – це:

- 1) гідроресурси – 4,32 млн. т у.п.;
- 2) вітроенергетика (до 2020 р. – 0,8 – 1,5 ГВт, щорічне виробництво до 2 млрд. кВт-год.);
- 3) сонячна, геотермальна енергія (до 2020 р. щорічне виробництво до 10 млн. т у. п.);
- 4) біогаз, утилізація відходів (щорічне виробництво до 10 млн. т органічного палива).

Загальний технічно-можливий потенціал нетрадиційних і поновлюваних джерел енергії складає близько 78 млн. т у. п. на рік (100 %), який за напрямками використання розподіляється: вітроенергетика – 24,6 млн. т у.п. (31,4 %), мала гідроенергетика – 2,24 (2,865 %), сонячна енергетика – 4,92 (6,292 %), біоенергетика – 21,2 (27,11 %), штучні горючі гази і метан шахтних родовищ – 13,2 (16,88 %), інші напрями використання джерел енергії (геотермальна енергетика, теплонасосні установки, ріпакове масло, спирти, водопаливні емульсії, техногенні родовища, гумові відходи) – 12,03 млн. т у.п. (15,38 %) [5].

Гідроелектроенергія. Потенційні ресурси потужних ГЕС складають до 4700 МВт. Потенційні ресурси (сумарні) малих річок України складають близько 2400 МВт. На цих річках існують 27 тис. ставків і водосховищ місцевого водогосподарського призначення, на яких можуть бути споруджені міні і мікро ГЕС потужністю 5 – 250 кВт [2].

Потенціал використання гідроресурсів в якості джерела виробництва електроенергії обмежується наявними в країні водними ресурсами та недоцільністю затоплення значної площі земель сільськогосподарського призначення через рівнинний характер місцевості в Україні. Отже, наявні обсяги гідроенергетики України не мають перспектив значного збільшення, що і продемонстровано на рис. 1.26.

Вітроенергетика. Розвиток вітроенергетики обумовлений наявністю великого технічно доступного потенціалу енергії вітру на території України. Для розміщення вітроенергетичних установок (ВЕУ) можуть використовуватися площі, які не були задіяні в господарстві, пасовища і безлісі ділянки гір, мілководді акваторії штучних і природних водосховищ, озер, лиманів, заток і морів.

Так, в затоці Азовського моря, Сивашу, який має площу акваторії близько 2700 км, є потенційна можливість розмістити до 135 тис. МВт загальної потужності вітроенергетичних станцій (ВЕС). Для споруди ВЕС може бути використана практично уся площа Азовського моря, а в Чорному морі лише на Одеській банці є можливість розмістити ВЕС встановленою потужністю до 20 тис. МВт. З урахуванням ділянок на суші загальний потенціал території, де можуть бути розміщені ВЕС, перевищує нинішнє виробництво електроенергії в Україні.

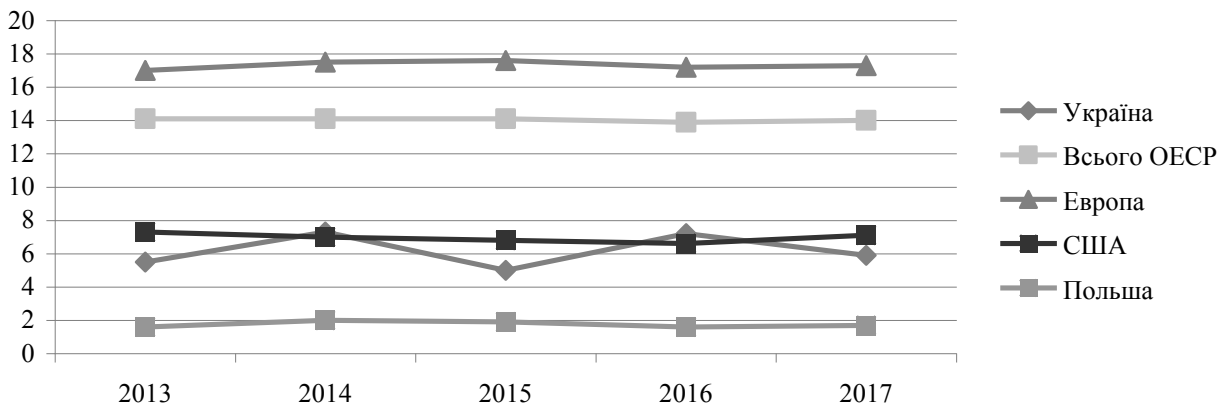


Рис. 1.26. Виробництво електроенергії ГЕС, 2013 – 2017 рр., %

*Джерело: узагальнено авторами за даними [11]*

Найбільші середньорічні за швидкістю вітри, що перевищують 5 м/с, спостерігаються в приморських районах, південних степах і Донбасі. Ці території, а також гірські райони Карпат і Криму є найбільш перспективними з точки зору використання енергії вітру. Але в гірських районах – зоні активного вітру – існують деякі обмеження для використання вітрової енергії. Тут повітряні потоки відрізняються сильною турбулентністю, різкою зміною швидкості і напрямку вітру. Для надійної експлуатації ВЕУ, наприклад в Карпатах, вважається придатною лише 1 – 2 % території [10].

Сонячна енергія. В Україні річна кількість сонячного випромінювання складає 3500 – 5200 МДж/м<sup>2</sup>, що знаходиться на одному рівні з країнами, які активно використовують сонячні колектори (США, Німеччина, Швеція та ін.). Вся територія України придатна для розвитку сонячного теплопостачання. Річний об'єм енергії сонячної радіації, що досягає поверхні землі у великих містах України, має значення: Сімферополь – 4,99 ГДж/м<sup>2</sup>, Одеса – 4,88 ГДж/м<sup>2</sup>, Донецьк – 4,44 ГДж/м<sup>2</sup>, Київ – 4,12 ГДж/м<sup>2</sup>, Суми – 3,89 ГДж/м<sup>2</sup>, Львів – 3,85 ГДж/м<sup>2</sup> [12, 13]. Найбільш перспективною є програма по створенню сонячної електростанції в Чорнобильській зоні.

Біотехнологія, утилізація відходів. Технології утилізації біомаси знаходяться на початку свого розвитку в Україні і мають хороші перспективи для комерціалізації в найближчому майбутньому. На сьогодні Україна споживає біомасу переважно у вигляді деревного палива – близько 1 млн. т у.п./рік при традиційному спалюванні дров для опалювання приватних будинків, а також в більш ніж 1000 котлах, які встановлені на підприємствах лісовою і деревообробною галуззю України.

Кількість відходів рослинної біомаси в Україні складає щорічно 40 млн. т, що еквівалентне 25 – 30 млрд. м<sup>3</sup> газу; щорічні відходи тваринництва і птахівництва в Україні складають 32 млн. т або 10,3 млрд. м<sup>3</sup>. В Україні в лісо відвалах накопичилося понад 14 млн. м<sup>3</sup> відходів, в лісах знаходиться ще 7 млн. м<sup>3</sup>, причому процес нарощування відходів триває [10].

Очевидно, що починати процес широкого впровадження біоенергетичних технологій потрібно з введення в експлуатацію сучасних котлів для спалювання відходів деревини, соломи і торфу а також будівництва міні-електростанцій на біогазі з полігонів ТПВ (твердих побутових відходів). Інші технології виробництва енергії з біомаси (біогаз з гною, рідкі палива, енергетичні культури) є не менш важливими і будуть пріоритетними в найближчому майбутньому, проте їм ще необхідно пройти демонстраційну стадію для підтвердження конкурентоспроможності їх економічних показників. Саме котли на біомасі і міні-електростанції на біогазі з ТПВ можуть швидко замінити природний газ для виробництва теплової і електричної енергії з найбільш низькими інвестиційними витратами і найкоротшими термінами окупності проектів.

Результати техніко-економічного аналізу показують, що виробництво теплоти з біомаси є конкурентоздатним навіть при використанні зарубіжного устаткування. При застосуванні устаткування українського виробництва терміни окупності складають 1 – 2 року для котлів на деревині і 2 – 3 року для котлів на соломі [2].

Отже, широке впровадження технологій отримання енергії з місцевих палив є одним з ефективних засобів скорочення споживання природного газу в Україні.

Геотермальна енергія. Джерела геотермальної енергії розташовані по усій території України. Оскільки ці джерела мають надзвичайно широкий спектр характеристик, неможливо уніфікувати технічні рішення по об'єктах і оснащенні, яке на них може застосовуватися.

Україна має значні потенційні ресурси геотермальної енергії. Районами її можливого використання є Крим, Закарпаття, Прикарпаття, Донецька, Запорізька, Луганська, Полтавська, Харківська, Херсонська, Чернігівська і інші області. За різними оцінками потенційні ресурси

геотермальної теплоти в Україні можуть забезпечити роботи геотермальних електростанцій (ГТЕС) загальною потужністю до 1,2 – 1,5 млрд. кВт (при глибинах буріння бурових свердловин до 4 км і періодах роботи систем 50 років).

Серед перспективних районів необхідно відмітити Закарпаття, Крим, Львівщину. Так, в Закарпатті на глибинах до 6 км температура гірських порід досягають 230 – 275 °С (пошукова бурова свердловина Мукачівська-1 показала температуру гірських порід 210 °С на глибині 4200 м). У Криму найбільш перспективними є Тарханкутський район і Керченський півострів.

Можна стверджувати, що власний паливно-енергетичний потенціал України порівнянний з більшістю країн Європи, проте ефективність його використання значно нижче середньосвітового рівня.

В цілому рівень забезпеченості України власними ПЕР складає 42 – 44 %, у тому числі вугіллям на рівні 80 %, газом – на 21 %, нафтою – на 25 % [5].

Для істотного збільшення в енергобалансі України об'ємів ПЕР з нетрадиційних і поновлюваних джерел енергії необхідно створювати об'єкти альтернативної енергетики за найбільш перспективними технологічними напрямками:

– впровадження новітніх вітчизняних вітроагрегатів мережевої і автономної вітроенергетики, пристосованих для найбільш поширених вітрових умов України;

– розширення сфери і збільшення об'ємів використання сонячної і геотермальної енергії для виробництва електроенергії і теплопостачання;

– використання гідроенергії малих річок шляхом відновлення зруйнованих і будівництва нових малих ГЕС, а також утилізації енергії технічних систем водопостачання;

– впровадження комбінованих когенераційних енергетичних систем в комплексі з системами акумуляції енергії;

– будівництво біогазових комплексів для отримання біогазу з осаду каналізаційних стоків міст і відходів сільського і лісового господарства, харчової промисловості, підприємств комунальної спрямованості, а також створення умов для розвитку в Україні енергетичних плантацій на базі швидкозростаючих рослин і технологій переробки отриманої біомаси в енергоносії;

– створення мережі підприємств по переробці побутового сміття з метою його знешкодження і отримання електричної і теплової енергії і впровадження технологій спалювання і переробки твердих побутових відходів (полімерів, гумових виробів і автошин) для отримання енергоносіїв (гідролізного газу, рідкісних нафтопродуктів, технічного вуглецю) із залученням високоефективних сучасних вітчизняних і зарубіжних технологій [5].

Успішний розвиток економіки України значною мірою залежить від вирішення питання з енергоносіями. Недостатній об'єм власних традиційних енергоносіїв змушує до їх імпортування. Тому найважливішим завданням економіки є їх дбайливе використання. Енергозбереження повинне стати основним пріоритетом енергетичної політики України, оскільки скорочення енергоспоживання за рахунок енергозбереження означає скорочення імпорту енергоносіїв.

Національною програмою “Нафта і газ України” визначено головне завдання по енергетичній безпеці країни – максимальне забезпечення потреб держави у ПЕР за рахунок їх власного видобутку. В Україні розвідані значні запаси газу і є усі можливості до 2020 р. збільшити його видобуток до 28 млрд. м<sup>3</sup>. Це при споживанні на рівні 2017 р. може повністю задовольнити потреби країни. Проте розрахунки свідчать, що власні запаси традиційних паливно-енергетичних ресурсів України – при сучасних темпах експлуатації родовищ (за винятком вугілля), будуть вичерпані через 40 – 60 років. Враховуючи це реалізація політики енергозбереження є питанням енергетичної безпеки держави, забезпечення майбутнього національної економіки. За даними Інституту загальної енергетики НАН України потенціал енергозбереження України оцінюється на рівні 42 – 48 %. Основна економія ПЕР може бути досягнута в промисловості – 38 %, в комунально-промисловій сфері майже 30 % і безпосередньо в паливно-енергетичному секторі 17 %. Важливо відмітити, що витрати на видобуток, або на закупівлю органічного палива в 2 – 2,5 разу вище за витрати на забезпечення економії палива за рахунок енергозбереження [5].

Зниженню енергоємності ВВП сприяє і виведення із експлуатації енергоємних і низькорентабельних виробництв, впровадження в галузях економіки організаційно-технічних заходів у сфері енергозбереження, енергоефективних технологій, нормування витрат палива і енергії, впровадження приладів їх обліку, застосування заздалегідь ізольованих труб в мережах теплопостачання, встановлення економічних систем освітлення, розробки і впровадження енергоефективного оснащення і приладів, паротурбогенераторів і інших енергоефективних заходів. Загальна економія енергоресурсів від реалізації вказаних заходів складає понад 2,2 млн. т у.п [13].

Проведений вище аналіз показує, що основу електроенергетики в Україні складають атомні електростанції. Дешева електроенергія атомних електростанцій дає можливість масового застосування теплових насосів, що вирішує проблему теплопостачання населення, виключивши при цьому споживання імпортного газу. Атомна електроенергетика має використовувати паливо власного виробництва.

Для забезпечення роботи енергосистеми з великою часткою АЕС – потрібні наступні умови:

– створення власного виробництва ядерного палива;

– рішення проблем маневрових потужностей для компенсації добових коливань навантажень в енергосистемі;

– реконструкція існуючих і будівництво нових електричних мереж.

Основою теплоенергетики повинні стати децентралізовані системи опалювання від колективних теплових насосів з резервними газовими котлами.

У перехідний період газові котли є основними джерелами тепlopостачання.

Для ефективного використання цих можливостей необхідно розгорнути в Україні масове виробництво когенераційних установок середньої і малої потужності і повітряних теплових насосів.

Основні вкладення у видобуток газу мають бути спрямовані на підтримку видобутку, розвідки і облаштування нових родовищ. Увесь газ власного видобутку має бути спрямований на потреби вітчизняних газохімічних і металургійних виробництв, для забезпечення ним рівних конкурентних можливостей з аналогічними виробництвами Російської Федерації і Білорусі.

Газ, не затребуваний промисловістю, повинен зберігатися в сховищах в якості державних резервів.

Серйозною альтернативою імпорту нафти в майбутньому може стати створення власних виробництв біоетанолу і біодизеля.

Вирішення проблеми вигідного використання газотранспортної системи України дає можливість інтегруватися у високоприбутковий ринок електроенергії Європи.

Для забезпечення конкурентоспроможності вітчизняної енергетики в рамках Єдиної Європейської економічної системи необхідно створити відповідну нормативно-правову базу, що забезпечить прозорість та прогнозованість господарської діяльності в енергетичному секторі та його демонополізацію.

Рішення проблем української енергетики – це ключ до посилення позицій України як суверенної і впливової держави в європейській і світовій економіці. Реформи в енергетиці ведуть до довгострокового і стабільного розвитку України.

#### 1.14. Напрями забезпечення енергетичної безпеки України

© Лесюк В. С.

*здобувач вищої освіти, Полтавська державна аграрна академія, м. Полтава, Україна*

Світова спільнота, з кожним роком, все більше приділяє уваги вирішенню глобальних проблем енергетичної безпеки, які мають вплив на економічне зростання та добробут населення усіх країн світу, зумовлюють не тільки темпи соціально-економічного розвитку, але і виживання людства в майбутньому.

Забезпечення світової енергетичної безпеки повинно ґрунтуватися на принципах: надійності, екологічності та довгострокового постачання паливно-енергетичних ресурсів за цінами доступними, як для країн експортерів, так і для споживачів [2; 3].

Комплекс заходів для зменшення негативних наслідків світової енергетичної кризи (рис. 1.27).

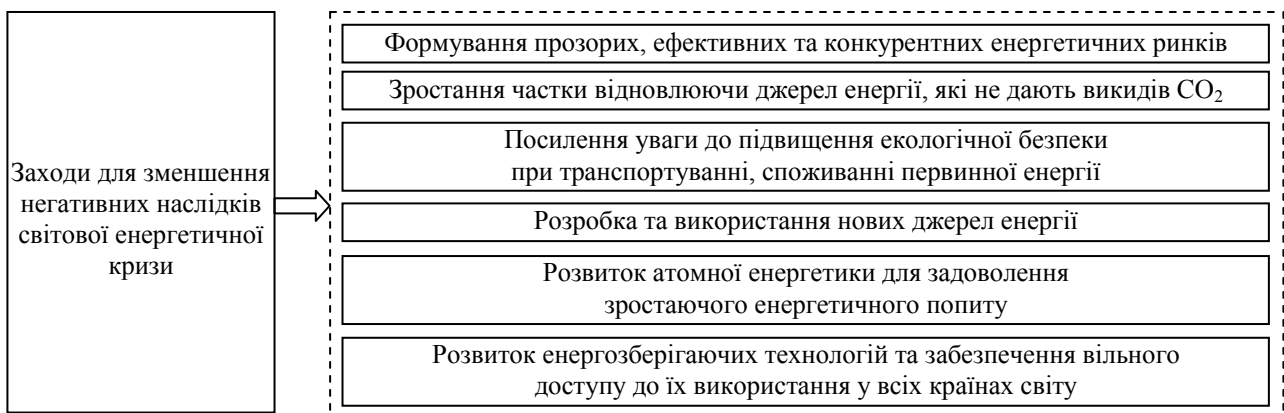


Рис. 1.27. Заходи для зменшення негативних наслідків світової енергетичної кризи

*Джерело: авторська розробка*

На сьогодні енергетична безпека України характеризується безліччю загроз, а стан паливно-енергетичного комплексу є незадовільним, тому для забезпечення та підтримки енергетичної безпеки України, а також стабільного функціонування паливно-енергетичного комплексу в майбутньому, необхідно провести ряд змін, як в межах країни, так і на зовнішньому ринку:



1. Створення державного резерву первинних ресурсів на випадок непередбачених обставин у паливно-енергетичному комплексі чи з їх постачання.

2. Зменшення імпорту енергетичних ресурсів шляхом підвищення власного видобутку: вугілля, нафтопродуктів, природного газу, урану (в таких областях України, як: Харківська, Полтавська, Сумська, Львівська, Чернігівська, Донецька, Луганська та Причорноморський регіон).

3. Проведення довгострокової політики розвитку вугільної промисловості, яка повинна передбачати: 1) здійснення приватизації, або передачі в оренду державних шахт та ліквідацію збиткових шахт; 2) модернізація шахтного фонду приватними інвесторами та припинення державного субсидування; 3) стабілізація зростання видобутку вугілля.

4. Децентралізація виробництва палива та енергії.

5. Оновлення законодавства для покращення системи державного управління паливно-енергетичним комплексом.

6. Проведення реформування нафтової промисловості (рис. 1.28).

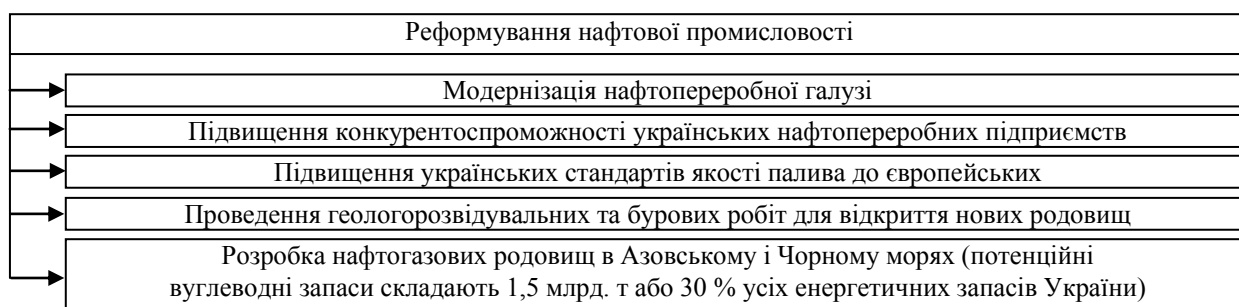


Рис. 1.28. Реформування нафтової промисловості України

Джерело: авторська розробка

7. Пріоритетними напрямками для розвитку нафтотранспортної системи (рис. 1.29) є: проведення модернізації нафтотранспортної системи, забезпечення надійності та безпечності постачань нафти, пошук і реалізація механізмів збільшення транспортування нафти.

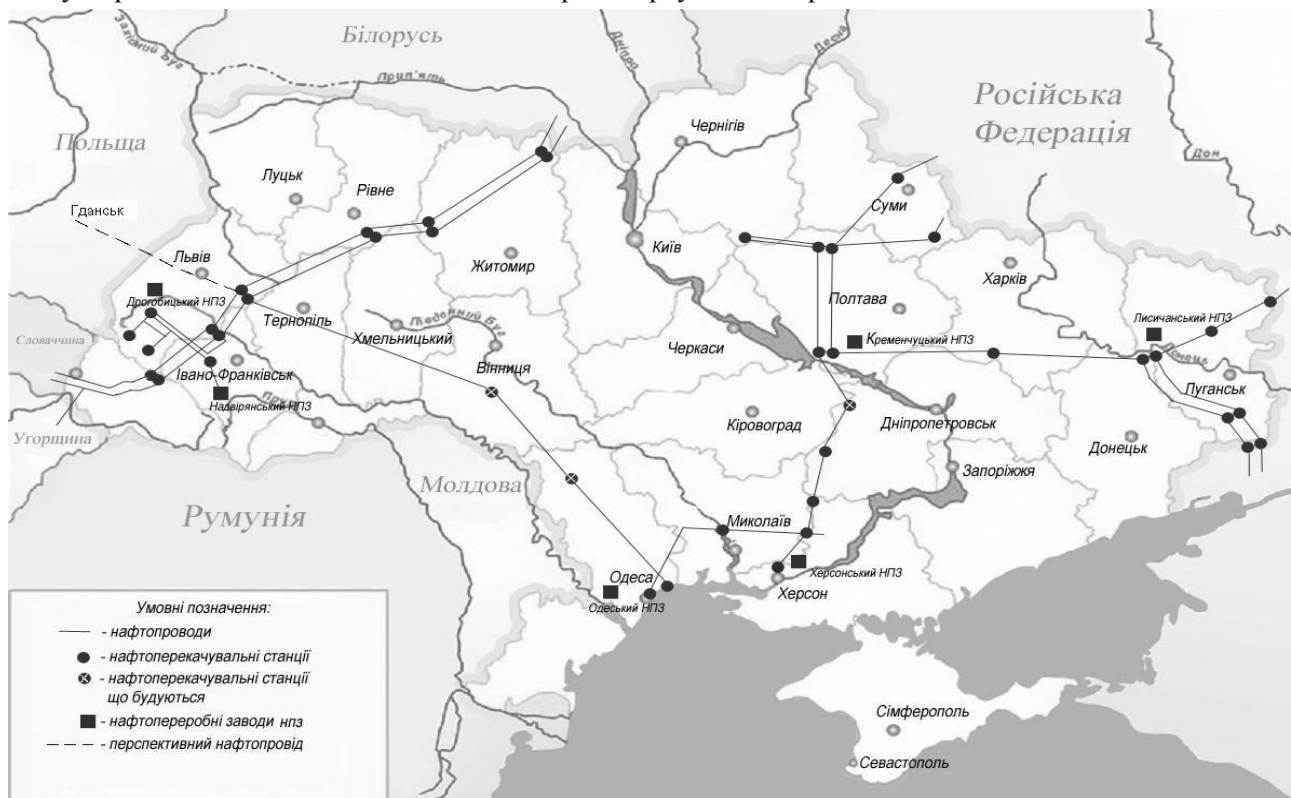


Рис. 1.29. Нафтотранспортна система до 2035 р.

Джерело: узагальнено автором

8. Повернення у державну власність об'єктів паливно-енергетичного комплексу.

9. Створення в Україні заводу з власного виробництва ядерного палива, що дасть змогу гарантувати незалежність забезпечення АЕС паливом і заощадити кошти.

10. Встановлення світової або європейської тарифної системи оплати транзиту, оплати за зберігання газу та нафти у сховищах.

11. Запровадження політики щодо зниження енергоємності ВВП, яка передбачатиме впровадження заходів з ефективного виробництва, транспортування та споживання паливно-енергетичних ресурсів.

12. Пріоритетними напрямками для розвитку газотранспортної системи (рис. 1.30) є: проведення модернізації газотранспортної системи, забезпечення надійності та безпечності постачань природного газу, пошук і реалізація механізмів збільшення транспортування природного газу.

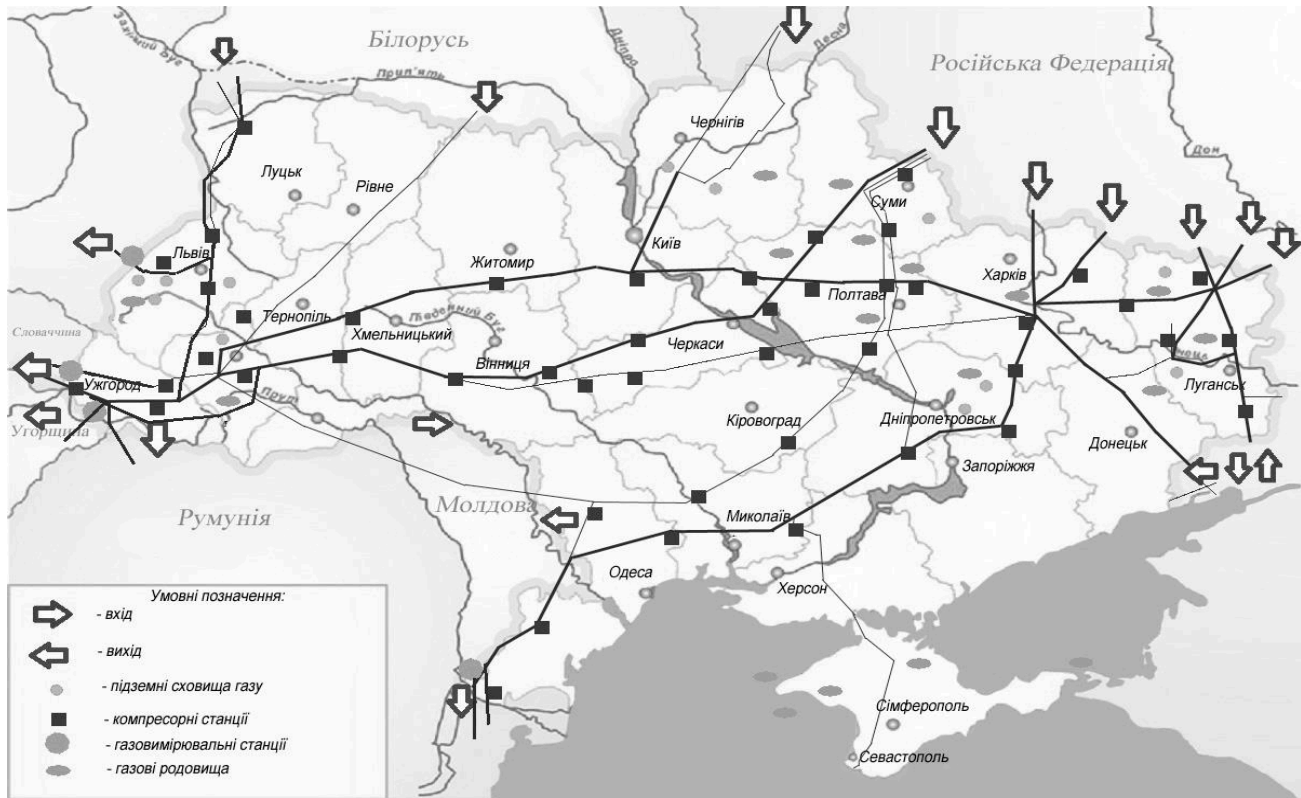


Рис. 1.30. Газотранспортна система України до 2035 р.

*Джерело: узагальнено автором*

13. Досягнення сталості рівня загальної первинної поставки енергії України шляхом зниження питомого споживання паливно-енергетичних ресурсів, у т. ч. вугілля з 38,3 млн. т н. е. – у 2010 р. до 12 млн. т н. е. – у 2035 р., природного газу з 55,2 млн. т н. е. – у 2010 р. до 29 млн. т н. е. – у 2035 р., нафтопродуктів з 13,2 млн. т н. е. – у 2010 р. до 7 млн. т н. е. – у 2035 р. Тим часом досягнення збільшення частки чистої енергетики, за рахунок використання біоенергетики з 1,5 млн. т н. е. – у 2010 р. до 11 млн. т н. е. – у 2035 р., сонячної та вітрової енергії до 10 млн. т н. е. – у 2035 р. (рис. 1.31).

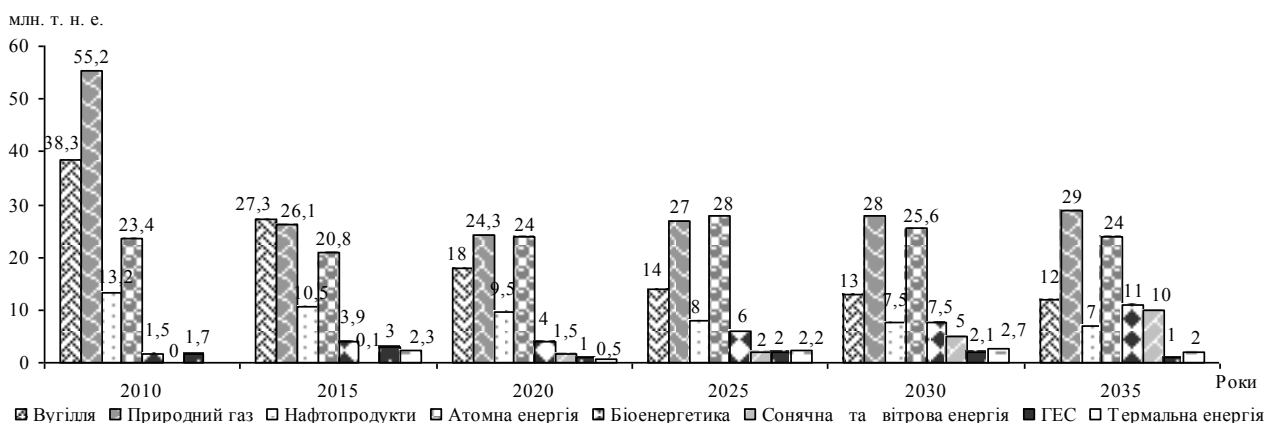


Рис. 1.31. Структура загальної первинної поставка енергії України до 2035 р.

*Джерело: розраховано автором за даними [1]*

14. Збільшення джерел постачання первинних енергетичних ресурсів, допоможе Україні з вирішенням проблеми монополії Російської Федерації та внаслідок цього створити умови для конкуренції й оптимізації ціни на енергоносії.

15. Впровадження енергозберігаючих технологій – дозволить знизити попит на енергоносії. В наш час енергетична система України не може достатньо забезпечити споживачів тими обсягами енергії, який вони потребують (рис. 1.32).

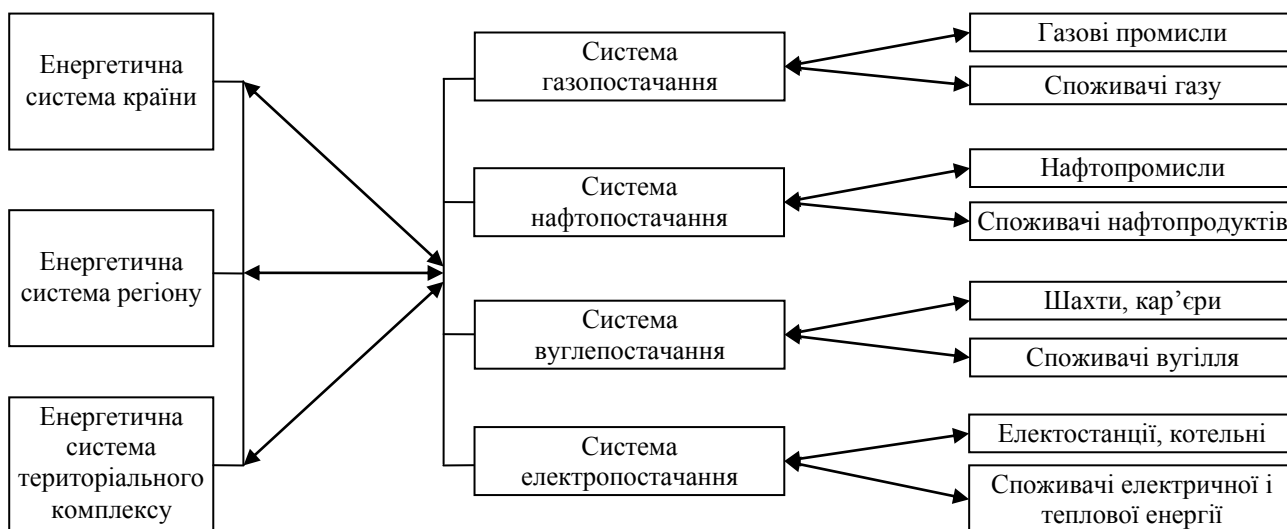


Рис. 1.32. Класифікація енергетичної системи

Джерело: авторська розробка

Проведення в Україні програм енергозбереження повинно здійснюватися в таких галузях національної економіки (рис. 1.33).

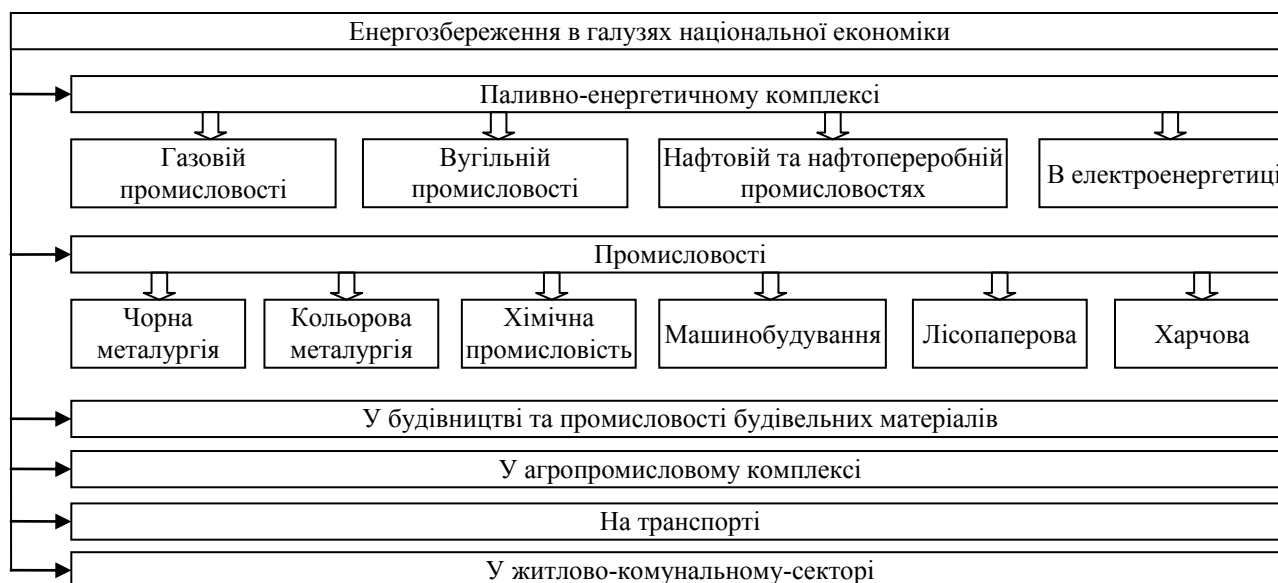


Рис. 1.33. Енергозбереження в галузях національної економіки України

Джерело: авторська розробка

16. Проведення заходів, які сприятимуть розвитку нетрадиційних та відновлюваних джерел енергії (рис. 1.34), які включають заходи стимулювання та створення сприятливих умов для інвестицій.

17. Підвищення екологічної безпеки при виробництві, транспортуванні, споживанні палива, енергії та зменшення шкідливого впливу на навколишнє середовище паливно-енергетичного комплексу відповідно до міжнародних вимог.

Для забезпечення енергетичної безпеки України, необхідно провести суттєві зміни у системі державного управління паливно-енергетичним комплексом. Найактуальнішим завданням, що стоїть на даний час перед нашою країною – зменшення імпорту паливно-енергетичних ресурсів за допомогою збільшення джерел постачання паливно-енергетичних ресурсів, збільшення їх видобутку та виробництва, впровадження енергозберігаючих технологій.



Рис. 1.34. Потенціальні ресурси для розвитку нетрадиційних та відновлюючі джерел енергії  
Джерело: авторська розробка

Отже, насамперед необхідне заміщення імпорту власними паливно-енергетичними ресурсами, серед яких можна виділити, як традиційні, так і нетрадиційні, включаючи джерела відновлюваної енергетики, адже впровадження енергоефективних технологій дасть можливість зменшити споживання енергетичних ресурсів на одиницю ВВП та, як наслідок, зниження залежності паливно-енергетичного комплексу від іноземних країн. Запропоновані напрями забезпечення енергетичної безпеки України сприятимуть енергоефективному розвитку національної економіки та підвищенню рівня енергетичної безпеки.

## Розділ 2

# ВИКОРИСТАННЯ НЕТРАДИЦІЙНИХ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ ТА АЛЬТЕРНАТИВНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ

### 2.1. “Зелена” енергетика як провідна ланка “зеленої” економіки: досвід Європейського Союзу

© Мельник Л. Г.

*д.е.н., професор, завідувач кафедри економіки, підприємництва та бізнес-адміністрування  
Сумський державний університет, м. Суми, Україна*

© Карінцева О. І.

*к.е.н., доцент, доцент, заступник завідувача кафедри економіки, підприємництва та бізнес-адміністрування  
Сумський державний університет, м. Суми, Україна*

© Дегтярьова І. Б.

*к.е.н., доцент, доцент кафедри економіки, підприємництва та та бізнес-адміністрування  
Сумський державний університет, м. Суми, Україна*

Енергетика є базовою ланкою будь-якої економіки. Ціна енергії значною мірою визначає ціну вироблених товарів і послуг. А від екологічності процесів отримання енергії залежить ступінь техногенного навантаження суспільства на природні системи. Отже, екологічно обумовлена трансформація енергетики відіграє вирішальну роль в сестейнізації економіки.

Не випадково, з п'яти напрямків (принципів) реалізації Третьої промислової революції (Т.п.р.) в країнах ЄС, прийнятих як директивні планові завдання Парламентом ЄС в червні 2007 р., чотири – безпосередньо пов'язані зі змінами в енергетичному секторі, а п'ятий – повною мірою залежить від них [24].

Ось ці напрямки:

- 1) розвиток відновлюваних джерел енергії;
- 2) використання просторів існуючих соціальних і промислових об'єктів (наприклад, дахів і фасадів будинків, поверхонь доріг, ін.) для установки генераторів відновлюваних джерел енергії (сонячної, вітрової, геотермальної, ін.);
- 3) розробка високоефективних засобів акумулювання енергії;
- 4) інтеграція розподілених відновлюваних джерел енергії в єдину загальноєвропейську інформаційно-енергетичну мережу (ЕнерНет);
- 5) електрифікація транспорту.

Згідно зі згаданим Директивним планом, Євросоюз взяв на себе зобов'язання, які в адміністративних колах були названі як “Три двадцятки (20–20–20)”. Це означає, що до 2020 р. має бути досягнуто: підвищення ефективності енергосистем на 20 %; зниження викидів двоокису вуглецю на 20 %; підвищення частки відновлюваних джерел енергії в енергобалансі країн Союзу в середньому на 20 %.

Відновлювані джерела енергії мають незаперечні переваги. Вони значно екологічніші традиційних способів отримання енергії, заснованих на спалюванні викопних видів палива. Крім того вони мають кілька очевидних властивостей, які вигідно відрізняють їх від об'єктів традиційної енергетики.

По-перше, джерела відновлюваної енергії характеризуються відносною стабільністю і невичерпністю, що дозволяє їм забезпечувати стійкий режим роботи енергетичних систем, а разом з ними – і всієї економіки. Мабуть, когось ці слова можуть здивувати. Про яку стабільність може йти мова, якщо сонце, світить не постійно, і не завжди дує вітер? Це правда. Але ця нестабільність відрізняється стійкою регулярністю. А крім того вже існують технічні рішення, що забезпечують роботу вітрових електростанцій при мінімальній швидкості вітру і навіть повному штилі. Ще стабільнішим джерелом є геотермальне тепло. У поєднанні з ефективними засобами акумулювання і зберігання енергії зазначені джерела забезпечують дійсно стійкий режим роботи енергосистеми як за енергопостачанням, так (що надзвичайно важливо) і за ціною виробленої енергії. Це дозволяє встановлювати стійкий порядок регулювання (диверсифікації відпускних цін залежно від періоду доби і сезонності споживання). Щоб було зрозуміло, про що йде мова, порівняємо цю картину з ситуацією зміни економічної кон'юнктури, залежно від цін на ринках традиційних енергоносіїв.

Мабуть, не випадково період прийняття п'яти згаданих принципів реалізації Т.п.р. збігся в часі з енергетичною кризою 2007 р., коли ціна на нафту на світових ринках підскочила з 30 – 40 дол. США, які були лише за кілька років до цього, в середньому до 120 дол. США за барель. Економіка провідних країн світу відреагували на це різким стрибком цін на вироблені товари і гальмуванням своєї активності. Коли ж у липні 2008 р. ціна за барель нафти підскочила до 147 дол. США, і ціни на вироблені товари по всьому ланцюжку злетіли вгору, подвоївшись і потроївшись на деякі групи товарів, через різке зниження купівельної спроможності населення провідні економіки світу практично зупинилися зовсім. Через два місяці, після цього вибухнула жорстка світова фінансова криза.

Природною реакцією економічних систем на енергетичну кризу стало значне зниження їх активності. Внаслідок цього в 2009 р. ціни на нафту впали взагалі до 30 дол. США за барель. Дешеві ціни на нафту активізували економічну активність, що, в свою чергу, з часом мотивувало підвищення ціни на нафту. І до 2012 р. вона знову досягла позначки в 120 дол. США. За нею поповзли вгору і ціни на інші товари. Через два роки маятник хитнувся у зворотному напрямку, довівши ціни на нафту до 30 дол. США і економіка знову пішла по “зачарованому” замкненому колу.

Як бачимо, сам характер енергетики, заснованої на спалюванні викопного палива, обумовлює надзвичайно нестійкий режим поведінки економічних систем. Цю ваду дозволяє подолати відновлювана енергетика. За умов достатньо розвиненої власної інфраструктури (акумуляційні системи, “розумні” мережі розподілу енергії, ін.) вона досить легко може не тільки забезпечити стабільний режим поставок електроенергії, але і впоратися з проблемами істотних коливань споживання енергії протягом добових і тижневих періодів часу. Це, як відомо, створює досить серйозні труднощі для традиційної енергетики.

Між тим, в березні 2011 р. сталася ще одна подія, яка підштовхнула країни ЄС до активізації робіт з реалізації Т.п.р. Такою подією стала одна з найбільших у сучасній історії радіаційна катастрофа (максимального 7-го рівня за Міжнародною шкалою ядерних подій) на АЕС Фукусіма-1 (Японія). Саме вона змусила терміново переглянути стратегічні плани розвитку ЄС.

У багатьох країнах Євросоюзу частка електроенергії, що вироблялася на атомних електростанціях, становила в середньому від 30 до 40 %, в низці країн вона складала понад половину національної електроенергії [3; 19]. Шок від японської катастрофи був настільки сильний, що змусив шукати заміну енергетичному атому. Європа не мала достатньо природних паливних енергоресурсів для такого компенсації. Проблема могла бути вирішена тільки через інтенсифікацію використання відновлюваних джерел енергії. Це і дало старт системному явищу під назвою “Третя промислова революція”.

Іншою відмінною рисою відновлюваних джерел енергії можна вважати їх відносну економічність. Вона обумовлена тим, що вартісні показники виробництва альтернативної енергії мають одну чудову особливість. В її собівартості практично відсутні (ну, або наближаються до нуля) змінні витрати. Це справедливо по відношенню до більшості видів відновлюваної енергії, за винятком, хіба що, біогазової.

Економісти знають, що до змінних витрат належать ті види витрат, які реагують на зміни обсягів виробництва продукції. Наприклад, для традиційної енергетики (чи то теплової, чи то атомної електростанції) операційні витрати виробництва зростають із ростом обсягу виробленої електроенергії. Адже з кожною виготовленою кВт-годиною електроенергії необхідно більше платити за придбання палива і людську працю, що забезпечує виробничий процес.

Сонячний, вітровий або геотермальний генератори не потребують палива. Джерелами їх роботи безкоштовно служать сили природи. Так само, і праця людини при їх роботі ніяк не пов'язана з обсягом виробленої енергії. Вона спрямована, головним чином, на усунення можливих неполадок. За винятком початкових витрат (інвестицій) на установку генератора саме вироблення електричної або теплової енергії обходиться безкоштовно.

Як бачимо, “зелена” енергетика (сонце, вітер, геотермальне тепло, приливна енергія) дозволяє взагалі обходитися без палива і хімічних процесів його спалювання. Це означає, з виробничих циклів виключаються цілі галузеві ланки, що забезпечують: видобуток викопних ресурсів, рекультивуацію порушених ландшафтів, транспортування сировини (вагонами/сухогрузами – в разі вугілля або цистернами/трубопроводами/танкерами – в разі нафти і газу), спалювання палива в електростанціях; виготовлення очисного обладнання і утилізацію відходів, а також процеси створення машинобудівних і будівельних підприємств, де формуються потужності для реалізації всіх згаданих процесів. Хоча, безумовно, не можна забувати, що створення самих установок для генерування відновлюваної енергії теж не може обійтися без значних витрат. Слід пам'ятати також про ті витрати, які знадобляться для утилізації генераторів альтернативної енергетики, коли вони будуть вичерпувати терміни своєї роботи. Втім, при значних обсягах відслуживших генераторів ця робота може бути поставлена на потік. Це буде істотно полегшено, якщо процеси розбірки і утилізації генераторів будуть передбачені конструктивно при проектуванні самих генераторів.

Все ж, необхідно визнати, що майже всі напрямки відновлюваної енергетики, зокрема, сонячна та вітрова, забезпечують виробництво енергії з мінімальними витратами праці на стадії їх експлуатації. Американський економіст Дж. Ріфкін назвав це явище енергією “з нульовими змінними витратами”. Крім того, у порівнянні з вуглецевою і атомною енергетикою при експлуатації відновлюваних джерел енергії практично виключаються витрати, матеріалізовані у видобуток і переробку вихідних енергоносіїв [24].

На рубежі 2015 – 2016 рр. середньосвітова вартість виробництва одиниці енергії в альтернативній енергетиці вже зрівнялася з такими ж показниками в традиційній енергетиці.

При цьому слід врахувати, що, завдяки технічному прогресу, питомі витрати на одиницю встановленої потужності в альтернативній енергетиці будуть стрімко знижуватися. Наприклад, очікується, що тільки з 2016 до 2018 рр. вартість виробництва одиниці сонячної енергії повинна скоротитися майже на 50 %, а вітрової – майже на 35 % [33; 35; 37]. І це – при нескінченних джерелах відновлюваної енергії.

Ще однією перевагою відновлюваних джерел енергії є їх розподіленість. На відміну від джерел палива традиційної енергетики, якими володіють одиниці, відновлювані джерела енергії доступні більшості жителів планети. Причому, це стосується не тільки повсюдної фізичної наявності самих джерел енергії (сонця, вітру, геотермального тепла), але і економічних можливостей самого генерування енергії. Вже сьогодні багато домовласників можуть собі дозволити мати свою власну електростанцію, що задовольняє їхні потреби в електроенергії. Завтра це буде доступно мільйонам, а післязавтра – мільярдам мешканців Землі.

Практичні кроки з розвитку альтернативної енергетики:

1. Розвиток сонячної та вітрової енергетики. Про те, що альтернативна енергетика давно вже перейшла з існуючих на папері планів в реальну дійсність переконливо свідчать численні цифри і факти. Досить познайомитися лише з деякими з них, щоб переконатися, що це дійсно так.

У 2015 р. потужності вітрових електростанцій у світі вперше перевищили потужності АЕС. 2015 р. став роком, коли собівартість сонячної і вітрової енергії стала нижчою за собівартість атомної енергії і майже зрівнялася із собівартістю отримання енергії на теплових електростанціях [36]. У 2015 і 2016 рр. кількість сонячних установок в світі збільшувалася більш ніж на третину в порівнянні з попереднім роком [36]. В 2016 р. у Європі 86 % (21,1 з 24,5 ГВт) нових електростанцій, підключених до національних енергомереж, генерують енергію з відновлюваних джерел [4; 5].

Щогодина в Китаї встановлюється одна вітряна турбіна і сонячна електростанція, розмірами з 3-и футбольних поля. Очікується, що вже в 2018 р. Китай виконає завдання з розвитку відновлюваної енергетики, заплановане на 2020 р. [13].

В цілому в 2016 р. в світі було запущено 161 ГВт нових “зелених” потужностей енергетики. За даними Міжнародного агентства з поновних джерел енергії (IRENA) на 1 січня 2017 р. встановлена потужність “зелених” електростанцій у світі досягла 2006 ГВт. У 2016 р. приріст потужностей за видами енергії склав: сонячна 71 ГВт, вітрова – 51 ГВт, гідроенергія – 30 ГВт, біоенергія – 9 ГВт, геотермальна енергія – 1 ГВт [6].

Серед регіонів з найбільшим приростом ВДЕ в 2016 р. лідирує Азія – 58 %. Серед лідерів за приростом потужностей сонячної енергетики в 2016 р. на першому місці Китай – 34 ГВт нових потужностей, потім США – 11 ГВт, Японія – 8 ГВт, Індія – 4 ГВт [1]. Європа збільшила сонячні потужності на 5 ГВт, досягнувши 104 ГВт (лідирують Німеччина і Великобританія) [6].

За 2017 р. в Китаї збільшилися потужності СЕС на 50 ГВт. Це майже вдвічі перевищує сумарні потужності, введені до ладу традиційною енергетикою (1,1 ГВт – АЕС; 6,7 – ГЕС; 18,9 – ТЕС). Ще 7,3 ГВт становить приріст потужностей вітроелектростанцій. Загальна потужність СЕС в країні на кінець 2017 р. наблизилася до 130 ГВт. Завдяки ривку Китаю загальна потужність нових сонячних електростанцій в світі у 2017 р. перевищила 100 ГВт – більше, ніж будь-якого іншого виду станцій. За оцінкою Asia Europe Clean Energy Consultants, до 2020 р. СЕС Китаю досягнуть потужності 248 ГВт, що вище за всю потужність російської енергетики [15; 17].

Сьогодні європейські біогазові установки в змозі замінити 15 вугільних електростанцій із середньою потужністю 500 МВт [2].

У принциповій життєздатності відновлюваних джерел енергії переконують рекорди, які вона не втомлюється встановлювати.

Зокрема, за даними кількох джерел, в один із сонячних днів (8 травня 2016 р.) в Німеччині частка електроенергії, отриманої лише від сонця і вітру перевищила 87 % загальної добової потреби в енергії в цей день. Виникла критична ситуація перевиробництва енергії в країні, що змусило енергетичний сектор на кілька годин ввести негативну (від’ємну) ціну для стимулювання інтенсивного споживання енергії. Протягом усього цього періоду за використання енергії платили не споживачі, а споживачам

[29; 30]. Подібні ситуації (виробництво більше 85 % за рахунок ВДЕ) стали повторюватися в Німеччині в святкові дні із завидною постійністю (грудень, 2016 р.; січень, 2017 р.; травень і грудень, 2017 р.). У березні ж 2017 р. Німеччина вийшла на середньомісячний показник – 41 % виробництва енергії з відновлюваних джерел [28; 34].

Можна з упевненістю стверджувати, що коли читач буде тримати в руках цю книгу, більшість рекордів, поставлених відновлюваною енергетикою, будуть пережиті її новими досягненнями [9]. Впевненості в цьому додає динаміка розвитку “зеленого” сектора енергетики. Досить, зокрема, поглянути на дані табл. 2.1.

Таблиця 2.1

**Динаміка обсягів і вартості виробництва відновлюваної енергії**

Показник	Значення
Подвоєння обсягу виробництва альтернативної енергії з 2000 р.:	
по сонцю	7 разів
по вітру	4 рази
Прогнозоване збільшення обсягів виробництва енергії, 2016 – 2018 рр.:	
по сонцю	2 рази
по вітру	1,5 рази
Скорочення вартості виробництва енергії при кожному подвоєнні її обсягу:	
по сонцю	на 24 %
по вітру	на 17 %

*Джерело: узагальнено авторами за даними [33; 35; 37]*

Наведемо ще один факт. На Саміті глав держав з питань клімату (Париж, грудень, 2015 р.) був представлений проект по повному переходу на відновлювані джерела енергії (ВДЕ) для 139 держав. У їх числі – Україна [10].

Окремою сторінкою формування альтернативної енергетики є суперництво двох напрямків її розвитку, заснованих на створенні концентрованих і деконцентрованих (розподілених) електростанцій.

Перше орієнтується на концентрацію виробничих енергетичних одиниць (сонячних панелей або вітрогенераторів) на одній території. При цьому відбувається не тільки територіальна, а й суб'єктна концентрація. Іншими словами, виробничі потужності концентруються в руках одного, нехай навіть і колективного, власника (юридичної особи). За цим напрямком йдуть країни, що мають достатню площу вільних територій. Для сонячної енергетики – це зазвичай пустельні території (Китай, Індія, Австралія, Африканські країни, США), для вітрової – прибережна морська зона (Японія, Великобританія, Нідерланди, Німеччина).

Другий напрямок пов'язаний з деконцентрацією джерел енергії, тобто розосередженням окремих потужностей як по території, так за формами власності. Наприклад, окремі панелі або вітрогенератори можуть належати різним домовласникам. Концентрація ж виробленої енергії відбувається вже на завершальній стадії завдяки створенню єдиної енергетичної системи (ЕнерНет), яка буде вирішувати всі економічні та технічні проблеми виробництва і споживання енергії. Цим шляхом йдуть більшість європейських країн.

Перехід на відновлювані джерела енергії має надзвичайно велике значення для більшості країн. Це є одним з найважливіших кроків до забезпечення їх енергетичної незалежності і подальшої реструктуризації господарських систем в напрямку формування “зеленої” економіки. Відрадно, що поряд з іншими країнами свої зусилля в цьому робить і Україна.

2. Розвиток біогазової енергетики. На сьогоднішній день максимальна кількість біогазових установок – близько 15 млн. – діє в Китаї. В Індії – близько 10 млн установок. Активно розвивається біогазова галузь в Європі. В європейській практиці 75 % біогазу виробляється з відходів сільського господарства, 17 % – з органічних відходів приватних домогосподарств і підприємств, ще 8 % – на каналізаційних очисних спорудах [18].

Сьогодні перше місце в Європі за кількістю діючих біогазових установок належить Німеччині – в 2016 р. їх налічувалося близько 10800. Тільки 7 % виробленого цими підприємствами біогазу надходить в газопроводи, решта – використовується для потреб виробника. У перспективі 10 – 20 % природного газу, що використовується в країні, може бути замінено біогазом. З точки зору масштабів застосування біогазу, лідирує Данія: даний вид палива забезпечує майже 20 % енергоспоживання країни.

За даними Європейської біогазової асоціації, лідерами за кількістю біогазових заводів крім Німеччини є: Італія – 1491, Великобританія – 813, Франція – 736, Швейцарія – 633, Чехія – 554, Австрія – 436 заводів [14].



Аналіз статистичних даних для тваринницьких і птахівничих підприємств України свідчить, що на свинофермах в діапазоні потужності 30 – 190 кВт можна побудувати не менше 370 біогазових установок (сумарною потужністю 27 МВт), на фермах ВРХ в діапазоні потужності до 300 кВт – 965 таких установок (загалом на 75 МВт) і ще 90 (сумарною потужністю 5 МВт) в птахівничих господарствах – в діапазоні потужності 15 – 110 кВт [27].

3. Геотермальна енергетика (ГЕ). Основним джерелом енергії в ГЕ є тепло, що міститься в надрах Землі. Розвиваються два основні напрямки: перший – пов’язаний з використанням гарячих підземних вод (зокрема, в місцях дії гейзерів або вулканічної активності); другий – з використанням сухого підземного тепла. У другому випадку енергія вилучається за допомогою буріння глибоких свердловин, куди закачується вода для її нагрівання. На виході виходить окріп і пар, які можуть використовуватися для опалення приміщень і виробництва енергії. Господарське застосування геотермальних джерел поширене більш, ніж в 30 країнах, в тому числі: в Ісландії, Новій Зеландії, Італії, Франції, Литві, Мексиці, Нікарагуа, Коста-Ріці, Філіппінах, Індонезії, Китаї, Японії, Кенії [8].

У ряді країн частка геотермальних електростанцій в загальному балансі енергоспоживання країн перевищує 10 %, а в Філіппінах і Ісландії наближається до 30 % (табл. 2.2).

*Таблиця 2.2*

**Виробництво енергії геотермальними електростанціями по країнам на початок 2010-х років**

Країна	Потужність, МВт	Частка в енергобалансі, %
США	4400	0,3
Філіппіни	1904	27
Індонезія	1200	4
Мексика	1000	3
Італія	843	0,5
Нова Зеландія	628	10
Ісландія	580	30
Японія	536	0,1
Сальвадор	204	14
Кенія	170	12
Коста-Ріка	166	14
Нікарагуа	88	10

*Джерело: [8]*

Значний потенціал розвитку геотермальної енергетики має Україна. За різними оцінками, ресурси геотермальної теплоти з урахуванням розвіданих запасів і ККД перетворення геотермальної енергії зможуть забезпечити роботу ГеоТЕС загальною потужністю до 200 – 250 МВт (при глибинах буріння свердловин до 7 км і періодах роботи станцій до 50 років) і систем геотермального тепlopостачання загальною потужністю до 1200 – 1500 МВт (при глибинах буріння свердловин до 4 км і періодах роботи до 50 років).

Найбільш перспективним регіоном для розвитку геотермальної енергетики є Закарпатті. Дослідницька підземна циркуляційна система вже працює біля м. Ужгорода. Вона забезпечує тепlopостачанням теплично-парниковий комбінат і тваринницьку ферму. Глибина системи 2,3 км, температура води 124°C [8].

Може розвиватися геотермальна енергетика і в інших регіонах країни (Прикарпаття, Донбас, Запорізька, Полтавська, Харківська, Херсонська області, Крим). І все ж геотермальна енергетика в Україні, мабуть, не має значних перспектив через необхідність великих капітальних вкладень у порівнянні з іншими видами альтернативної енергетики і меншу ефективність.

4. Припливні електростанції (ПЕС). Даний вид електростанцій використовує енергію припливів і є однією з форм гідроенергетики. Припливи більш передбачувані, ніж джерела вітрової та сонячної енергетики, а вироблена енергія має низьку собівартість. Проте, ПЕС широко не використовуються через надто високі капітальні вкладення і обмежену доступність місць з досить високими припливними діапазонами (в деяких місцях перепад висот може досягати 18 м).

Сучасні технології дозволяють значно підвищити ефективність роботи ПЕС. Зокрема, в так званих динамічних припливних електростанціях для цього використовується взаємодія кінетичної і потенційної енергії потоку. Через циклічність роботи ПЕС, максимальну віддачу вони можуть забезпечити в поєднанні з іншими видами електростанцій [23].

5. Хвильові електростанції. Як випливає з назви, даний вид електростанцій використовує енергію морських хвиль, перетворюючи її на електричну. Потужність таких електростанцій значно нижча за потужність ПЕС, досягаючи в окремих випадках 10 МВт, зате і їх кількість значно більша. Вони забезпечують електроенергією невеликі об’єкти: берегові споруди, невеликі поселення, маяки, науково-дослідницькі прилади, бурові платформи.

Сьогодні хвильові електростанції діють в багатьох країнах (Австралія, Великобританія, Іспанія, Норвегія, Португалія, Російська Федерація та ін. країни). Перша дослідна хвильова електростанція (0,5 МВт) була введена до ладу в Норвегії в 1985 р. Перша в світі велика хвильова електростанція з потужністю 2,25 МВт почала експлуатуватися в Португалії в 2008 р. (район містечка Агусадор).

Хвильові електростанції мають як переваги (наприклад, захист берега від хвиль), так і низку недоліків (перешкода рибним промислам і судноплавству).

6. Використання приповерхневого тепла Землі. Приповерхневі шари Землі є природним тепловим акумулятором. Вони накопичують енергію, що надходить від Сонця.

На глибині близько 3 м і більше (нижче рівня промерзання) температура ґрунту протягом року практично не змінюється і приблизно дорівнює середньорічній температурі зовнішнього повітря. На глибині 1,5 – 3,2 м взимку температура становить від + 5 до + 7 °С, а влітку від + 10 до + 12 °С. Цим теплом можна взимку не допустити замерзання будинку, а влітку не дати йому перегрітися вище 18 – 20 °С [12].

7. Ґрунтовий теплообмінник (ҐТО). Є найпростішим інструментом використання тепла землі. Він являє собою, систему повітропроводів, які прокладаються під землею. Взимку входить холодне повітря, яке надходить до будинку і, проходячи по ҐТО, нагрівається, а влітку – охолоджується. При раціональному розміщенні повітропроводів можна відбирати з ґрунту значну кількість теплової енергії з невеликими витратами електроенергії [12].

Теплові насоси – ще один напрямок використання тепла Землі. Принцип їх дії – зворотній роботі холодильника. Джерелом енергії є будь-який перепад температур, що виникає в середовищі. У холодильнику реагент переносить холод, а при застосуванні теплового насоса – тепло. Температура носія, яку він генерує, 35 – 40°С. Теплові насоси можуть відбирати тепло з землі, ґрунтових вод або повітря [7].

Наразі розвиток відповідної енергетики в Україні переживає значний підйом. І хоча на середину 2017 р. частка “зеленої” енергетики в загальному балансі була не дуже вагомою (близько 2 %), слід врахувати, що ще п’ять років тому досягнення подібного результату планувалося лише на 2025 р. [20].

За перше півріччя 2017 р. в Україні було побудовано 79 нових об’єктів “зеленої” енергетики (з них 67 – СЕС) загальною потужністю майже 183 МВт. При цьому потужності СЕС виросли на 23 %, вітрових електростанцій – на 5 %, малих ГЕС – на 1,5 % і об’єктів на біомасі – на 6 %.

Всього на перше півріччя 2017 р. потужності електростанцій на ВДЕ забезпечували майже 1462 МВт енергії, з них 705 МВт становила потужність СЕС, 459 МВт – вітрових електростанцій, близько 120 МВт – малих ГЕС і 33 МВт – електростанцій на біомасі.

Стратегічною метою є довести до 2020 р. потужності альтернативної енергетики в країні до 7 – 8 % загального енергобалансу. До 2030 р. планується довести обсяг встановлених потужностей “зеленої” енергетики до 8 ГВт. Половина зазначених потужностей повинна бути забезпечена за рахунок сонячної генерації [11; 21].

Сьогодні потужності альтернативної енергетики створюються практично у всіх областях України. Найбільше працюючих вже СЕС функціонує в Одеській, Миколаївській, Херсонській, Вінницькій, Львівській, Кіровоградській, Харківській областях. Вітрові електростанції вже працюють в Запорізькій, Львівській, Миколаївській, Херсонській, Харківській областях.

До речі, одна із СЕС (“Солар парк Підгородне”), яка запрацювала на повну потужність під містом Дніпро, є досить унікальною і не має аналогів у Східній Європі. Справа у тому, що її сонячні модулі є рухомими і стежать за пересуванням сонця протягом дня. Це дозволяє на 50 % підвищити ефективність роботи електростанції.

Всього на ринку ВДЕ України працюють близько 230 компаній. Значна їх частина представлена зарубіжними інвесторами. Велику активність проявляють підприємства Німеччини, Китаю, Кореї, Індії, Нідерландів, Данії, Швеції та інших країн. Сегмент вітроенергетики представлений всього 13 компаніями (15 діючих ВЕС). Більшу частину (більше 90 %) “зеленої” енергії виробляють підприємства сонячної і вітрової енергетики, поділяючи виробництво енергії приблизно порівну [11].

Значний потенціал розвитку сонячної енергетики має зона відчуження Чорнобильської АЕС. Залученню зарубіжних інвесторів і розробників покликана сприяти інтерактивна карта розвитку проектів відновлюваної енергетики. Карта повинна демонструвати відповідні земельні ділянки під розміщення об’єктів відновлюваної енергетики (для електростанцій потужністю від 27,5 кВт до 150 кВт), а також можливі точки підключення “зелених” об’єктів в енергосистему України. За допомогою карти інвестори ще на початку роботи зможуть знайти точку входу для реалізації проекту та розрахувати його рентабельність. Планується також розробити і запропонувати типові фінансові моделі для різних проектів, що посилить інформаційну цінність карти [25].

У середньому на 1 МВт встановленої потужності “зеленої” енергетики в Україні необхідно близько 1 млн євро інвестицій. Це означає, що будівництво потужностей в 1 ГВт обходиться в 1 млрд. євро. Втім, на це можна поглянути й з іншого боку. Створення потужностей в 100 МВт дає можливість залучити в країну зарубіжні інвестиції на 100 млн. євро. Сонячної активності в Україні достатньо, щоб

забезпечити окупність інвестицій за 6 – 7 років з використанням “зеленого” тарифу і 13 – 15 років без такого. Цей термін можна порівняти з окупністю класичної ТЕС [16].

Фахівці відзначають суттєву різницю в ринкових умовах створення потужностей сонячної і вітрової енергетики. Різниця обумовлена тим, що “пори́г входу” в сегменті сонячної енергетики нижче, ніж у вітроенергетиці. Це обумовлено тим, що процес будівництва СЕС простіше, а вимоги до досвіду та експертизи слабші. Через це на сонячний ринок потрапити набагато простіше. Процес створення вітрової електростанції набагато більш трудомісткий. Відомим фактом є те, що для ефективного функціонування об’єктів відновлюваної енергетики необхідна наявність потужної системи зберігання (акумулявання) енергії.

Ще більше вражає розвиток альтернативної енергетики в приватних домогосподарствах. Лише за три квартали 2017 р. понад 1200 українських домогосподарств перейшли на сонячну енергію, довівши кількість приватних міні-СЕС до 2323, а показник загальної встановленої потужності – до 37 МВт [26].

Слід сказати, що для установки зазначених приватних міні-СЕС тільки за дев’ять місяців 2017 р. вдалося мобілізувати інвестицій на суму в 35 млн. євро.

На тлі нестабільності банківської системи сонячні станції виявилися вигідними інвестиціями. Вкласти гроші в середню за розміром сонячну станцію стало вигідніше, ніж в середній за розміром депозит. Цьому сприяє і те, що за останні кілька років впала вартість сонячних батарей і зросла їх доступність. А це в свою чергу призвело до зниження терміну окупності подібних проектів. Якщо два роки тому побутова сонячна станція обходилася в 10 тис. дол. США і окупалася в середньому за 10 років, то зараз вона коштує 6 – 8 тис. дол. США і може окупитися за 5 – 7 років [5].

Значну роль в активізації розвитку “зеленої” енергетики в країні відіграють економічні інструменти.

По-перше, в Україні діє один з найвищих “зелених” тарифів в Європі, який також значно вищий, ніж для інших видів вітчизняної генерації: до 18 євроцентів за 1 кВт-год, що в перекладі – близько 5,5 грн за 1 кВт-год. Крім того, Україна гарантує покупку електроенергії за таким спецтарифом до 2030 р. По-друге, після Революції гідності була ліквідована норма про місцеву складову – для отримання “зеленого” тарифу. Раніше діяла норма для об’єктів “зеленої” енергетики: від 30 – до 50 % (в різні роки) обладнання повинно бути вітчизняного походження. Реально це відкривало дорогу провладним фірмам і закривало іноземним інвесторам. Тепер же норма про обов’язковість вітчизняного обладнання замінена на механізм заохочувальних надбавок (до + 10 % до зеленого тарифу), що враховує інтереси вітчизняних виробників, але ж і забезпечує вільний доступ нових гравців на ринок [20].

Підвищений попит населення на сонячні панелі, в першу чергу, пояснюється прийнятим в 2015 р. законом, яким встановлено “зелений” тариф на рівні 18,09 євроцентів (близько 5,5 грн.) за 1 кВт-год на електроенергію, вироблену сонячними установками потужністю до 30 кВт. Простіше кажучи, в денний час доби, коли ви практично не споживаєте електроенергію, ваша сонячна панель працює на максимумі і продає в мережу електрику по 18,09 євроцентів за 1 кВт-год. При цьому ввечері, коли ваша станція не працює, ви купуєте електрику з мережі за звичайним тарифом: 1,68 грн. за 1 кВт-год. при споживанні понад 100 кВт-год., або 0,9 грн. за 1 кВт-год при меншому споживанні (там же).

Істотну допомогу в розвитку альтернативної енергетики надають також місцеві адміністрації. Так, наприклад, у Львівській області з обласного бюджету домогосподарству повертають 22 % річних по кредиту на сонячні панелі, а в Житомирській області – 20 % суми кредиту [26].

Слід зазначити, що сонячні панелі встановлюються не тільки в приватних будинках, але і в багатоповерхівках. Приклади подібних ініціатив вже демонструють об’єднання співвласників багатоквартирних будинків (ОСББ) в Києві, Дніпрі, Рівному, Сумах. Як правило, фінансову підтримку (до 70 %) надає місцевий бюджет.

Отже, завдяки новим принципам функціонування продуктивних сил і реалізації виробничих відносин з’являються можливості вирішення найважливіших соціально-економічних завдань: отримання необхідної енергії без утворення додаткової кількості тепла на планеті; виробництва виробів не на основі відсікання непотрібного від вилученої з надр речовини, а за допомогою додавання лише необхідного з мінімальною кількістю відходів; переходу до замкнутих циклів ресурсокористування; радикального зниження екологічного навантаження на природні системи; значного (в разі) підвищення ефективності суспільного виробництва; усупільнення засобів виробництва і залучення широких мас в процеси управління економічними системами; формування основ “солідарної економіки”; суттєвого підвищення якості життя людей.

Стає все більш очевидним, що перехід до нової економіки є не просто черговою якісною трансформацією продуктивних сил, а безпрецедентним в історії людської цивілізації фазовим переходом, що кардинально змінює всі ключові компоненти системної сутності людства: виробництво, споживання, стиль життя, ідеологічні установки, базові інститути, економічні відносини, освіту, систему мотивації та управління.

## 2.2. Потенціал відновлюваних джерел енергії в Україні

© **Пілявський В. І.**

*к.е.н., докторант*

*Міжнародний університет бізнесу і права, м. Херсон, Україна*

© **Волкова Н. В.**

*к.е.н., ст. викладач кафедри економіки підприємства*

*Полтавської державної аграрної академії, м. Полтава, Україна*

© **Могилат М. Г.**

*к.е.н., ст. викладач кафедри економіки підприємства*

*Полтавської державної аграрної академії, м. Полтава, Україна*

Використання сонячної енергії є новою технологією. Вважається, що до 15 % сонячної енергії, що надходить на поверхню Землі, може бути використано для забезпечення життєдіяльності людства. Ця частка дорівнює 63000 млрд. МВт-год. на рік або 7700 млрд. т у.п.

Сонячна енергія, яка надходить на територію України, оцінюється дослідниками 400 млн. т у.п. У північній частині України середньорічна кількість сумарної сонячної радіації з 1 м<sup>2</sup> поверхні вимірюється від 1070 кВт-год./м<sup>2</sup>, а в окремих районах АР Крим – до 1400 кВт-год./м<sup>2</sup>. Розподіл сонячного потенціалу по областях України представлено на рис. 2.1.



Рис. 2.1. Потенціал сонячної енергії

*Джерело: [2; 7]*

Зазначений вище потенціал сонячної енергії в Україні є достатньо високим для широкого впровадження як теплоенергетичного, так і фотоенергетичного обладнання практично в усіх областях. Термін ефективної експлуатації геліоенергетичного обладнання в південних областях України – 7 місяців (з квітня по жовтень), в північних областях 5 місяців (з травня по вересень). Фотоенергетичне обладнання може достатньо ефективно експлуатуватися протягом усього року [2].

Найбільш привабливим з екологічної точки зору є виробництво електроенергії за допомогою сонячних фотоелектричних станцій. Основна перешкода для розвитку фотоенергетики – висока вартість генерованої на цих станціях енергії.

Згідно оглядової інформації [4], в сільському господарстві існують великі можливості для застосування сонячних установок – в рослинництві, тваринництві, садівництві. Це, перш за все: геліотеплиці; сушильні установки; гаряче водопостачання і опалення ферм з розведення великої рогатої худоби, свиней, птахів; підігрів води в басейнах для розведення риби; холодильні установки.

В Україні реалізовано більше 50 експериментальних проектів в різних областях національного господарства. Річне виробництво теплової енергії досягає 500 – 600 кВт-год./м<sup>2</sup>, термін окупності – від 3 до 10 років.

Найбільшу популярність отримали системи з сонячними батареями. Наприклад, призначена для постачання електроенергією установки крапельного поливу, має сонячну батарею з чутливими елементами у вигляді кремнієвих пластин. Струм, що виробляється батареєю, надходить безпосередньо на електронасоси системи крапельного поливу і на підзарядку акумулятора. Для акумулювання енергії, що виробляється використовується спеціальний водяний накопичувач. Сонячна батарея встановлена на опорах. Передбачено механізм орієнтування сонячної батареї.

У другому прикладі сонячна батарея застосована для постачання електроенергією установки електролітичної обробки рідкого гною в свинарниках і корівниках. Вихід сонячної батареї підключений до перетворювача і акумулятора. Перетворювач забезпечує подачу напруги на електроди, опускаючись в ємність з оброблюваним гноєм. Таке використання сонячних батарей є одним з перспективних напрямків розвитку енергетики невеликих господарств. Установки, які використовують тепло надр землі, отримали широке застосування для підготовки припливного повітря при забезпеченні мікроклімату. При цьому стає можливим як нагрів, так і охолодження надходить в приміщення повітря. Установка для використання тепла надр землі складається з трубок теплообмінника, які встановлені в землі і з'єднані із зовнішнім повітрям через збірний повітропровід і повітрозабірну шахту. Земля на глибині 2 – 3 м має незначні коливання температури по сезонах року (весна, літо – 5 – 15 °С). Так, для відгодівлі 2500 індичок в приміщенні монтують теплообмінник, що складається з 30 дренажних трубок з внутрішнім діаметром 115 мм. Відстань між трубками становить 1 м, загальна довжина теплообмінника – 45 м, глибина закладки – 3 м. За допомогою регулятора температури і вимикача з годинниковим механізмом здійснюється двофазний режим роботи вентиляційної установки в залежності від температури зовнішнього повітря. Дослідами встановлено оптимальні параметри мікроклімату в пташниках при температурі зовнішнього повітря понад 17 °С. Влітку при повітрообміні до 15000 м<sup>3</sup>/год. в пташнику охолоджуюча здатність становить 25 – 83 кВт в середньому за добу. Це призводить до зменшення температури повітря в дослідному пташнику в порівнянні з контрольним. Взимку застосування установки також ефективно. Температура повітря в дослідному пташнику була вище, ніж в контрольному. Такий спосіб рекомендується для забезпечення мікроклімату в приміщеннях, де утримують птицю з 6 тижнів, а також підсисних свиноматок, відгодовуваних свиней, телят-молочників.

Підтримка температури зерна нижче + 12 °С – гарантія його доброму стані. Для цього необхідно знизити температуру протягом зими до + 10 °С при зберіганні зерна менше 6 місяців і до + 5°С при зберіганні протягом року. Відразу після збирання температура зерна досягає 25 – 35 °С. І так як маса зерна має низьку теплопровідність, природної циркуляції повітря недостатньо для її охолодження. Необхідно застосування вентиляторів.

Вентиляцію проводять зазвичай вночі (повітря більш холодне, ніж за вартість електроенергії) і поетапно: відразу після завантаження в зерносховище температуру зерна знижують до 15 – 20 °С, в кінці вересня – початку жовтня до 10 – 15 °С, на початку зими до 5 – 10 °С, для тривалого зберігання на початку заморозків температуру знижують до 0 – мінус 5 °С.

Вентиляцію восени і взимку необхідно проводити при різниці температур навколишнього повітря і зерна в 5 – 7 °С. При більшій різниці на стінках сховища починається конденсація водяної пари, з'являється цвіль. Кожен етап проводять протягом декількох ночей.

Для своєчасної вентиляції необхідно проводити спостереження за температурою навколишнього повітря і зерна в зерносховищі. Для вимірювання температури повітря ртутний термометр поміщають перед всмоктуючим отвором вентилятора.

Для виміру температури зерна використовують зонд з термоопором, який встановлюється на глибині мінімум 30 см в масі зерна і на відстані 1 м від стінок зерносховища. Зонд з'єднаний зі зчитувальних пристроїв, розташованих внизу сховища, що дозволяє оператору не підніматися для виміру температури в його верхню частину.

Замір повинен здійснюватися в декількох точках зерносховища одночасно. Результати вимірів передаються на єдине, що зчитує операторського пульта.

Стратегія розвитку теплової сонячної енергетики полягає в наступному:

- створення конкурентоспроможних зразків обладнання, використовуючи передові технології;
- масштабне виробництво обладнання для теплової сонячної енергетики;
- підготовка нормативних документів для фахівців;
- створення системи інформації про вітчизняні та зарубіжні розробки в області геліотехніки, реклами і маркетингу передових досягнень;
- створення державних, галузевих і регіональних структур розвитку і впровадження геліо технологій і обладнання.

Рівень надходження сонячної радіації в Україні досить високий, становить 3,45 млрд. МВт-год. на рік (табл. 2.3).

Найбільше число годин сонячного сяйва 2300 – 2400 год. на рік спостерігається в Криму і на узбережжі Чорного і Азовського морів. У степовій зоні України тривалість сонячного сяйва становить 2000 – 2200 год. У напрямку Полісся і на сході країни тривалість сонячного сяйва зменшується до 1740 – 1840 год., в низинах Закарпатської області число годин сонячного сяйва досягає 2025 год. на рік. Найбільш сонячні місяці – з травня по серпень, найменш сонячні – з листопада по лютий [3].

**Сумарний річний потенціал сонячної енергії на території України, МВт-год.**

Область	Загальний потенціал ( $\times 10^9$ )	Технічний потенціал ( $\times 10^7$ )	Економічно доцільний потенціал ( $\times 10^5$ )
Вінницька	30,8	14,8	2,3
Волинська	21,8	10,5	1,6
Дніпропетровська	37,6	18,0	2,8
Донецька	33,0	15,8	2,5
Житомирська	32,3	15,5	2,4
Закарпатська	15,5	7,5	1,2
Запорізька	34,8	16,7	2,6
Івано-Франківська	16,4	7,9	1,2
Київська	31,5	15,5	2,4
Кіровоградська	28,8	13,8	2,2
Луганська	34,0	16,3	2,5
Львівська	25,4	12,2	1,9
Миколаївська	32,5	15,6	2,4
Одеська	45,4	21,8	3,4
Полтавська	31,9	15,3	2,4
Рівненська	21,8	10,5	1,6
Сумська	26,0	12,5	2,0
Тернопільська	16,3	7,8	1,2
Харківська	35,4	17	2,7
Херсонська	38,4	18,4	2,9
Хмельницька	24,3	11,6	1,8
Черкаська	24,2	11,6	1,8
Чернівецька	9,6	4,6	0,7
Чернігівська	34,2	16,4	2,6
АР Крим	36,5	17,5	2,7
Всього	718,4	345,1	53,8

Джерело: [3]

В результаті обробки статистичних метеорологічних даних по надходженню сонячної радіації визначено питомі енергетичні показники (рівень прямого сонячного випромінювання, інсоляція) з надходження сонячної енергії. Визначено енергетичний потенціал сонячного випромінювання для кожної з областей України.

У кліматометеорологічних умовах України для сонячного теплопостачання ефективними є застосування плоских сонячних колекторів, які використовують як пряму, так і розсіяну сонячну радіацію. Концентрують сонячні колектори можуть бути достатньо ефективними тільки в південних регіонах України [4].

Досить високий рівень готового до серійного виробництва і з широким діапазоном можливого застосування в Україні отримало обладнання сонячної теплової енергетики. Розрахунки показують, що для масштабного впровадження і отримання значної економії паливно-енергетичних ресурсів необхідно лише підвищення зацікавленості виробників до випуску великих партій такого обладнання.

Перетворення сонячної енергії в електричну енергію в умовах України слід орієнтувати в першу чергу на використання фотоелектричних пристроїв.

Наявність значних запасів сировини промислової і науково-технічної бази, для виготовлення фотоелектричних пристроїв, може забезпечити сповна не тільки потреби вітчизняного споживача, але і представляти для експортних поставок більше двох третин виробленої продукції.

Використання сонячної енергії є перспективною статтею економіки для всіх країн світу, відповідаючи їх інтересам ще і в плані енергетичної незалежності, завдяки чому вона впевнено завойовує стійкі позиції в світовій енергетиці. Привабливість сонячної енергії можна виразити рядом таких обставин:

- вона доступна в кожній точці нашої планети, відрізняючись по щільності потоку випромінювання не більше ніж в два рази;
- це екологічно чисте джерело енергії, яку можна використовувати у великих масштабах без негативного впливу на навколишнє середовище;
- це практично невичерпне джерело енергії, яке буде доступним і через мільйон років.

Україна має потужні ресурси вітрової енергії: річний технічний вітроенергетичний потенціал дорівнює 30 млрд. кВт-год. (табл. 2.4).

Таблиця 2.4

Питома вага енергетичного потенціалу вітрової енергії  
в Україні, в залежності від швидкості вітру, кВт-год./м<sup>2</sup>

№ району	Середньорічна швидкість вітру, м/с	Висота, м	Природний потенціал вітру, кВт-год./м <sup>2</sup> год.	Техніко-досяжний потенціал вітру, год./м <sup>2</sup> год.
1	< 4,25	15	1120	200
		30	151	280
		60	2030	375
		100	2530	460
2	4,5	15	2010	390
		30	2710	520
		60	3640	700
		100	4540	850
3	5,0	15	2810	520
		30	3790	690
		60	2100	860
		100	6350	975
4	5,5	15	3200	620
		30	4320	830
		60	5810	1020
		100	7230	1150

Джерело: [7; 2]

У результаті обробки статистичних метеорологічних даних по швидкості і повторюваності швидкості вітру проведено районування території України по швидкостях вітру і визначено питомий енергетичний потенціал вітру на різній висоті відповідно до зон районування [7].

В умовах України за допомогою вітроустановок можливим є використання 15 – 19 % річного обсягу енергії вітру, що проходить крізь перетин поверхні вітроколеса. Очікувані обсяги виробництва електроенергії з 1 м<sup>2</sup> перетину площі вітроколеса в перспективних регіонах складають 800 – 1000 кВт/год./м<sup>2</sup> за годину.

Застосування вітроустановок для виробництва електроенергії в промислових масштабах найбільш ефективно в регіонах України, де середньорічна швидкість вітру більше 5 м/с: на Азово-Чорноморському узбережжі, в Одеській, Херсонській, Запорізькій, Донецькій, Луганській, Миколаївській областях, АР Крим і в районі Карпат.

Вітрова енергія, крім зазначених фізичних змінних, істотно (ще більшою мірою), залежить від географічних чинників. Останні є глобальними, регіональними та місцевими. Глобальні фактори визначаються географічним положенням країни. Щодо України, глобальний фактор проявляється в приналежності її території переважно до помірного поясу (крім смуги субтропічного ландшафту Південного берега Криму), завдяки чому тут панує західний перенос повітря, частими є фронтальні атмосферні процеси, що урізноманітнюють вітровий режим, в той же час, бувають тривалі періоди панування антициклону безвітряного режиму. На регіональному рівні, спостерігається залежність вітрового режиму від умов географічного поясу і близькості до моря. На місцевому рівні, спостерігається висока залежність розподілу і швидкості вітру від рельєфу, забудови (в містах) і показників шорсткості поверхні. Ці фактори, в свою чергу, впливають на вертикальний розподіл вітрового потоку, який в кінцевому підсумку є визначальним фактором для вибору конкретного технологічного типу і місця розміщення відповідної вітроустановки [1].

Для ряду сільськогосподарських об'єктів, віддалених від лінії електропередач, газопроводів та інших комунікацій, перспективним є використання для автономного енергопостачання ВЕУ малої потужності 10 кВт. Ємність акумуляторної батареї для подібних автономних установок вибирається з необхідності забезпечення енергопостачання при відсутності вітру протягом 2 – 3 діб. Ще більш надійне електропостачання забезпечується при доповненні вітрової енергетичної установки сонячними батареями.

Основними перспективами використання енергії вітру в сільськогосподарському виробництві є отримання електроенергії і забезпечення водопостачання для ферм, теплиць та інших цілей.

Наприклад серед різних способів створення оптимального температурного режиму при вирощуванні свиней протягом перших тижнів їх життя електропідігрів підлоги має велике значення, а електроенергія вироблена за допомогою вітроустановок вважається однією з найдешевших. Крім того, він забезпечує найбільш сприятливі та безпечні умови утримання тварин при мінімальній необхідності в технічному обслуговуванні нагрівальних елементів і контрольних пристроїв.

Застосовувані низьковольтні електронагрівачі харчуються від вітроустановок, і розміщуються в підлозі. Низьковольтні нагрівачі майже не потребують ізоляції, проте вся система вимагає великих витрат через необхідність в трансформаторі. Як правило, інтенсивність обігріву підлог, регулюють термостатами, датчики яких встановлюють або безпосередньо в підлозі (в спеціальних трубках), або над підлогою. Середня потужність, необхідна для нормального обігріву клітин з поросятами-сосунами і верстатів з молодняком, коливається від 160 до 200 Вт на 1 м площі підлоги в залежності від розмірів конструкції і розташування обігрівача зони.

Україна має порівняно великі ресурси гідроенергії малих річок – загальний гідроенергетичний потенціал малих річок України складає близько 12,5 млрд. кВт-год., що становить близько 28 % загального гідро потенціалу всіх річок України.

Створено базу даних по розподілу енергетичного потенціалу малих річок по областях України. Коливання середніх даних по загальному потенціалу в Україні досить незначні, тоді як дані з технічного та економічно доцільного потенціалу малих річок потребують уточнення – в звичайних ситуаціях не менше ніж раз на 5 років, а у виняткових випадках – щорічно.

Головною перевагою малої гідроенергетики є дешевизна електроенергії, генеруючої на гідроелектростанціях; відсутність паливної складової в процесі отримання електроенергії при впровадженні малих гідроелектростанцій дає позитивний економічний та екологічний ефект.

Верхня межа потужності гідроенергетичного обладнання становить 30 МВт. Згідно з міжнародною класифікацією за нормативом ООН, до малих гідроелектростанцій (МГЕС) відносять гідроелектростанції потужністю від 1 до 30 МВт, до міні ГЕС – від 100 до 1000 кВт, до мікро ГЕС – не більш 100 кВт [9].

При використанні гідропотенціалу малих річок України можна досягти значної економії паливно-енергетичних ресурсів, причому розвиток малої гідроенергетики сприятиме децентралізації загальної енергетичної системи, ніж зніме ряд проблем як в енергопостачанні віддалених і важкодоступних районів сільської місцевості, так і в управлінні гігантськими енергетичними системами; при цьому буде вирішуватися цілий комплекс проблем в економічній, екологічній та соціальній сферах життєдіяльності та господарювання в сільській місцевості, в тому числі і районних центрів [7].

Малі ГЕС, міні і мікро ГЕС можуть стати потужною основою енергозабезпечення для всіх регіонів Західної України, а для деяких районів Закарпатської та Чернівецької областей – джерелом повного саме енергозабезпечення.

Для вирішення проблем розвитку малої гідроенергетики Україна має достатній науково-технічний потенціал і значний досвід в галузі проектування та розробки конструкцій гідротурбінного обладнання, дослідження гідроенергетичного потенціалу малих річок, вирішення водогосподарських і екологічних проблем, при будівництві гідроелектростанцій. Українські підприємства мають необхідний виробничий потенціал для створення вітчизняного обладнання малих ГЕС [9].

Мала енергетика України у зв'язку з її незначною питомою вагою (до 0,2 %) в загальному енергобалансі не може істотно впливати на умови енергозабезпечення країни. Однак експлуатація малих ГЕС дає можливість виробляти близько 250 млн. кВт-год. електроенергії, що еквівалентно щорічній економії до 75000 т дефіцитного органічного палива.

Україна має значні ресурси геотермальної енергії, загальний потенціал яких в програмі державної підтримки розвитку нетрадиційних та відновлюваних джерел енергії та малої гідро- і теплоенергетики оцінюється величиною  $438 \cdot 10^9$  кВт-год. на рік, що еквівалентно запасам палива в обсязі  $50 \cdot 10^6$  т у. т [6].

Геотермальні ресурси України представляють собою, перш за все, термальні води і тепло нагрітих сухих гірських порід. Крім цього, до перспективних для використання в промислових масштабах можна віднести ресурси нагрітих підземних вод, які виводяться з нафтою і газом діючими свердловинами нафтогазових родовищ.

Досить перспективний напрямок енергозберігаючої технологічної політики – використання геотермальної енергії для опалення, водопостачання та кондиціонування повітря, в житлових та громадських будинках і спорудах, в містах і сільській місцевості, а також технологічне використання глибинного тепла Землі в різних галузях промисловості і сільського господарства [5].

Найбільш поширеним і придатним в даний час для технічного використання джерелом геотермальної енергії в Україні являються геотермальні води, прогнозний енергетичний потенціал яких представлений у табл. 2.5.

Область застосування і ефективність використання геотермальних енергоресурсів того чи іншого родовища залежать: від їх енергетичного потенціалу, загального запасу і дебіту свердловин, хімічного складу, мінералізації і агресивності вод, наявності споживача і його віддаленість, температурного і гідравлічного режимів свердловин, глибини залягання водоносних пластів і їх характеристики, а також від ряду інших факторів [8].



Таблиця 2.5

Сумарний річний потенціал геотермальної енергії на території України, МВт-год.

Область	Кількість теплоносія видобувається з підтримкою пластового тиску, тис. м <sup>3</sup> /сутки	Тепловий потенціал в термальних водах, МВт	Річна економія, тис. у. т.
Вінницька	–	–	–
Волинська	–	–	–
Дніпропетровська	–	–	–
Донецька	–	–	–
Житомирська	–	–	–
Закарпатська	239,4	490,0	510
Запорізька	–	–	–
Івано-Франківська	–	–	–
Київська	–	–	–
Кіровоградська	–	–	–
Луганська	–	–	–
Львівська	–	–	–
Миколаївська	1620,0	2820	1900,0
Одеська	1350,0	2350,0	1600,0
Полтавська	5,9	9,2	9,9
Рівненська	–	–	–
Сумська	4,2	15,8	17,0
Тернопільська	–	–	–
Харківська	0,4	1,3	1,4
Херсонська	2430,0	4230,0	2900,0
Хмельницька	–	–	–
Черкаська	–	–	–
Чернівецька	–	–	–
Чернігівська	37,2	58,3	62,7
АР Крим	21600,0	37600,0	25600,0
Всього	27287,1	47574,6	32601,0

Джерело: [6]

Подальша стратегія розвитку геотермальної енергетики в Україні полягає в першочерговому розвитку найбільш підготовлених до практичної реалізації технологій геотермального теплопостачання населених пунктів і сільськогосподарських проєктів, і в частковому переорієнтуванні науково-технічної бази існуючих геологорозвідувальних і нафтовидобувних організацій, завантаження яких знижена в результаті виснаження в Україні запасів нафти і газу.

Одним з перспективних напрямків розвитку геотермальної енергетики є створення комбінованих енерготехнологічних вузлів для отримання електроенергії, теплоти і цінних компонентів, які містяться в геотермальних теплоносіях.

З точки зору екології негативний вплив на навколишнє середовище при експлуатації геотермальних родовищ значно менше, ніж при застосуванні традиційних енергосистем.

### 2.3. Відновлювальні джерела енергії та їх вплив на збалансований сталий розвиток господарського комплексу регіонів України

© Бутко М. П.

*д.е.н., професор, професор кафедри менеджменту та державної служби  
Чернігівський національний технологічний університет, м. Чернігів, Україна*

© Акименко О. Ю.

*к.е.н., доцент кафедри бухгалтерського обліку, оподаткування та аудиту  
Чернігівський національний технологічний університет, м. Чернігів, Україна*

© Петровська А. С.

*здобувач наукового ступеня доктора філософії,  
Чернігівський національний технологічний університет, м. Чернігів, Україна*

Найважливішою глобальною проблемою, яка постала на початку XXI ст. перед цивілізацією, є саме енергетична проблема, спричинена стрімким розвитком суспільства, науки та техніки. Забезпеченість країни енергоносіями є запорукою розвитку не лише економіки, а й усіх суспільних сфер життєдіяльності. Проте, незворотне виснаження світових вуглеводневих запасів, зростаюча ціна

на енергоносії, проблеми екологічного забруднення навколишнього середовища змушують більшість розвинених країн формувати свої енергетичні стратегії, спрямовані на розвиток альтернативної енергетики, використання нетрадиційних й відновлювальних джерел енергії (ВДЕ), пошук нових і вдосконалення існуючих технологій, виведення їх до економічно ефективного рівня й розширення сфер використання [25]. За даними МЕА, до 2030 р. частка електроенергії, видобутої за допомогою альтернативних джерел, збільшиться вдвічі порівняно із сьогоdnішніми показниками, що складають близько 16 % від усього виробництва [28].

Проблеми енергетичної безпеки й питання, що пов'язані з використанням ВДЕ, набувають все більшої актуальності. Враховуючи основну перевагу використання відновлюваних енергоресурсів, а саме їх невичерпність та екологічну чистоту, це сприятиме поліпшенню екологічного стану і не призведе до зміни енергетичного балансу на планеті.

З'ясування сутності понять альтернативної енергетики є предметом дискусії багатьох вчених. Деякі з них вважають за необхідне синтезувати їх та назвати одним загальним терміном. Так, Кишко О. Б. пропонує застосовувати в законодавстві замість термінів “нетрадиційні”, “відновлювані” та “альтернативні” джерела лише один термін – “відновлювані джерела енергії” [19].

При тому, згідно законодавства, альтернативні джерела енергії – це ВДЕ, до яких належать енергія сонячна, вітрова, геотермальна, енергія хвиль та припливів, гідроенергія, енергія біомаси, газу з органічних відходів, газу каналізаційно-очисних станцій, біогазів, та вторинні енергетичні ресурси, до яких належать доменний та коксівний газ, газ метан дегазації вугільних родовищ, перетворення скидного енергопотенціалу технологічних процесів [2].

Отже, поняття “альтернативна енергетика” включає, окрім ВДЕ, також усі інші, що можуть замінити традиційні викопні енергоносії – низько потенційне тепло Землі (використовується у теплових насосах), такі вторинні джерела енергії як скидне тепло, побутові та промислові відходи (можуть бути як відновлюваними, так і не відновлюваними), тиск газу доменних печей і тиск природного газу під час його транспортування, шахтний метан, природний газ із невеликих родовищ, торф та інші [20]. Тобто, поняття “альтернативні джерела енергії” включають в себе і поняття “відновлювані джерела енергії”, і поняття “нетрадиційні джерела енергії”, і поняття вторинні енергетичні ресурси. Натомість, до нетрадиційних джерел та видів енергетичної сировини відносять сировину рослинного походження, відходи, тверді горючі речовини, інші природні і штучні джерела та види енергетичної сировини, у тому числі нафтові, газові, газоконденсатні і нафтогазоконденсатні вичерпані, непромислового значення та техногенні родовища, важкі сорти нафти, природні бітуми, газонасичені води, газогідрати тощо, виробництво (видобуток) і переробка яких потребує застосування новітніх технологій і які не використовуються для виробництва (видобутку) традиційних видів палива [1].

Отже, проаналізуємо використання нетрадиційних та ВДЕ, які останнім часом стали одним із важливих критеріїв сталого розвитку світової спільноти та поступово заміщують традиційну генерацію.

У 2017 р. світові інвестиції у ВДЕ склали 333,5 млрд дол. США. За даними видання Bloomberg New Energy Finance майже половина цієї суми (160,8 млрд дол. США) була спрямована на сонячну енергетику; на другому місці за розміром капіталовкладень – вітрова енергетика, в яку було інвестовано 107,2 млрд дол. США; на третьому – “energy smart technologies”: йдеться про розвиток “smart grids” та електротранспорту, виробництво інноваційного енергоефективного обладнання, встановлення акумуляційних систем тощо. У цю сферу інвестовано 48,8 млрд дол. США. Найбільший внесок у фінансування “зелених” проектів зробив Китай, інвестувавши 132,6 млрд дол. США. Друге місце посідають США із 56,9 млрд дол. США у ВДЕ [27].

Попри минулорічне 18 % (287,5 млрд дол. США) зменшення інвестицій в сектор (або 23 % – без врахування великої гідроенергетики) порівняно з піковим 2015 р. (348,5 млрд дол. США), інвестиції в ВДЕ вдвічі перевищили фінансування викопного палива в 2016 р., а частка “зелених” технологій в світі зросла з 10,3 % в 2015 р. до 11,3 % в 2016 р. В той же час кількість сонячних та вітроустановок встановили рекорд і склали 127 ГВт. Енергія вітру, сонця, відходів, геотермальна, біомаса, малі гідроелектростанції додали 138,5 ГВт., в порівнянні з 127,5 ГВт. в 2015 р. [27]. Факт надходження рекордних інвестицій та стрімкий розвиток ВДЕ відбуваються попри найнижчі за 13 років ціни на нафту та газ, що підтверджує незворотність тренду переходу до ВДЕ у світі.

Зокрема, у світі питанням альтернативної енергетики приділяється увага як на рівні домогосподарств та компаній, так і держав. Найбільшими виробниками “зеленої” електроенергії є 7 країн, сумарні потужності яких складають 71,5 % світових (470 ГВт без врахування гідроенергії): Китай, США, Німеччина, Італія, Іспанія, Японія, Індія. Компанії та уряди країн намагаються забезпечити енергетичну безпеку своїх країн саме шляхом розвитку альтернативної енергетики. Більшість проектів, які розроблені та розробляються на сучасному етапі у європейських країнах ставлять за мету – досягнення максимальної енергетичної незалежності (табл. 2.6) [12].

Таблиця 2.6

Проекти по розвитку альтернативної енергетики у різних країнах та містах світу

Країна	Мета
Данія	Електрика та тепло 100 % з відновлювальних джерел з 2035 р. та 100 % в усіх секторах з 2050 р.
Ісландія	Вже досягнуто 99 % електроенергії та 70 % кінцевого споживання всієї енергії з ВДЕ
Шотландія	100 % електрики з ВДЕ до 2020 р. та 30 % загальної потреби в енергії
Мальдіви	100 % енергії з ВДЕ до 2020 р. На сьогоднішній день в США існує три міста, які повністю перейшли на відновлювальну енергетику (Аспен, Бурлінгтон, Вермонт)
Міста	
Ванкувер	У 2015 р. були прийняті зобов'язання щодо переходу міста на 100 % з ВДЕ
Франкфурт	Декарбонізація міста за рахунок ВДЕ та альтернативного автомобільного палива до 2050 р.
Копенгаген	100 % електроенергії та тепла з ВДЕ до 2030 р. та 100 % в усіх секторах до 2050 р.
Мюнхен	100 % електроенергії з ВДЕ для домовласників до 2015 р. та для всіх споживачів до 2025 р.
Мальмо	100 % відновлювальної енергетики до 2020 р.
Сідней	100 % електроенергії, теплоти та холоду з ВДЕ до 2030 р.

Джерело: [12]

Економіка України характеризується низькою енергоефективністю та за індексом управління ресурсами перебуває на четвертому місці серед дев'яти країн євразійського регіону – після Монголії, Казахстану та Киргизької Республіки. Показники України є найкращими в компоненті використання ресурсного потенціалу із задовільною оцінкою (61 зі 100 балів) і найгіршими в контексті управління доходами (40 зі 100 балів). Сприятливе середовище як компонент в Україні оцінюється у 45 зі 100 балів, що обумовлюється політичною нестабільністю та відсутністю результатів у боротьбі з корупцією. Що стосується показників України за підкомпонентами в ланцюжку прийняття рішень у видобувній галузі, вони коливаються від низьких на рівні підкомпонентів місцевого впливу та формування національного бюджету до високих в підкомпоненті управління державними підприємствами [22].

Незважаючи на різке подорожчання енергоресурсів, в Україні повільно впроваджуються заходи, спрямовані на енергозбереження, підвищення енергоефективності та отримання енергії з відновлювальних джерел. Так, енергоємність ВВП в Україні (питомі енерговитрати на 1 дол. США виробленого ВВП) перевищує аналогічні показники: Великої Британії – у 4,8 рази; Туреччини – у 3,8 рази; Польщі – у 3 рази. Зокрема, Україна споживає газу більше, ніж Швеція, Бельгія, Польща, Чехія, Норвегія, Естонія та Латвія разом узяті [26].

Виробництво електроенергії в Україні в 2016 р. склало 164573,2 млн. кВт-год., що на 28807,8 млн. кВт-год. менше даного показника 2006 р. [16; 24]. На опалення будинків в Україні витрачається 260 кВт-год./м<sup>2</sup>, у країнах ЄС – 90 – 120 кВт-год./м<sup>2</sup>. Натомість, на кінець 2016 р. в Україні встановлено лише 1117 МВт потужностей ВДЕ, які виробляють близько 1 % у загальному обсязі відпущеної електроенергії. За цих обставин Україна, з найбільшим потенціалом розвитку сонячної (70 ГВт) та вітрової енергетики (320 ГВт), виробництвом енергії з біомаси у Південно-Східній Європі, здатна збільшити сукупне кінцеве використання енергії з відновлюваних джерел до 870 ПДж у 2030 р. (за оцінками міжнародного агентства IRENA). При цьому 73 % потенціалу енергії з відновлюваних джерел в Україні припадатиме на теплоенергетику, 20 % – на електроенергетику та 7 % – на транспорт. Агентством також визначено додатковий потенціал України на рівні 26,9 ТВт-год. у вітровій енергетиці, 6,2 ТВт-год. – у використанні біомаси та 5,8 ТВт-год. – у сонячній фотоелектричній енергетиці, який дозволить збільшити частку енергії з відновлюваних джерел у електроенергетиці до 25 %. Це, в свою чергу, слугуватиме потужним стимулом для подальшого розвитку ВДЕ в Україні [26].

Гостра необхідність розв'язання проблеми енергомісткості вітчизняної економіки спонукає до удосконалення інституціонального середовища як на державному, так і на регіональному рівнях.

Законодавчу основу для виробництва відновлюваної енергії утворюють Закон “Про альтернативні види палива”, Закон “Про альтернативні джерела енергії” [1; 2]. Перший закон визначає правові, економічні, екологічні та організаційні засади використання альтернативних джерел енергії, сприяння розширення їх використання у паливно-енергетичному балансі країни, другий – визначає принципи політики сприяння. Даним законом альтернативна енергетика визначається як сфера енергетики, що забезпечує вироблення електричної, теплової та механічної енергії з альтернативних джерел енергії. Розпорядженням від 18 серпня 2017 р. № 605-р Уряд схвалив Енергетичну стратегію України на період до 2035 р. “Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність”, яка є базовим документом із забезпечення енергетичної безпеки і сталого розвитку енергетичного сектору до 2035 р. [8].

Основним стимулюючим інструментом державної політики в розвитку ВДЕ є система “зелених тарифів”, які затверджені з прив'язкою до євровалюти, гарантовані до 2030 р. та представляють

спеціальну високу ціну, за якою закуповується електроенергія, вироблена за допомогою альтернативних джерел енергії: сонця, вітру, води, тепла землі, біогазу та інших [4; 15].

За даними ДАЕЕ загальна потужність об'єктів ВДЕ в Україні становить 1244,2 МВт. За типом генерації, найбільше становлять СЕС – 649 МВт (52 %), далі ВЕС – 438 МВт (35 %), ГЕС (крім великих) – 93 МВт (8 %), з біомаси – 39 МВт (3 %), та найменше з біогазу – 26 МВт (2 %). Серед всіх областей України лише в чотирьох – Одеській, Запорізькій, Миколаївській та Вінницькій – зосереджено майже 60 % всіх потужностей ВДЕ (рис. 2.2) [18; 29].

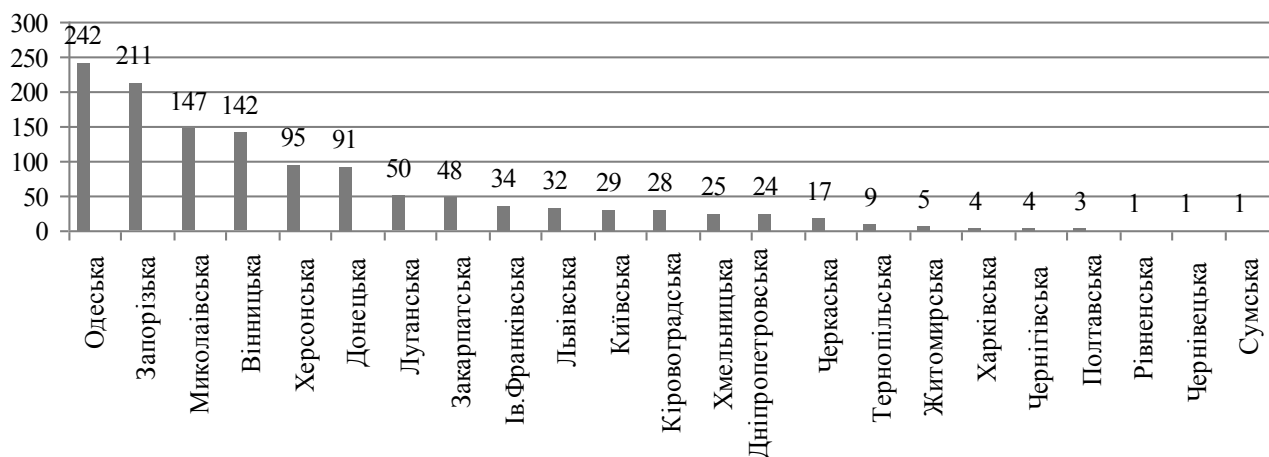


Рис. 2.2. Встановлена потужність відновлювальних джерел енергії, 2017 р., МВт  
Джерело: узагальнено авторами за даними [11; 29]

Загалом із введених на 1.07.2017 р. 126,5 МВт потужностей, 118,1 (93 %) становили сонячні електростанції, найбільша сумарна потужність яких (54 %) зосереджена у Херсонській, Вінницькій та Івано-Франківській областях (рис. 2.3) [16; 29].

Масштабне використання потенціалу нетрадиційної енергетики в Україні має не тільки внутрішньодержавне, а й значне міжнародне значення. Адже альтернативна енергетика постає як вагомий чинник протидії глобальним змінам клімату планети в цілому. Тому, шляхи стратегічного розвитку цієї сфери діяльності в Україні повинні сприяти солідарним зусиллям світової спільноти у сфері енергетики та відповідати основним принципам Зеленої книги “Європейська стратегія сталої, конкурентоздатної та безпечної енергетики” [17].

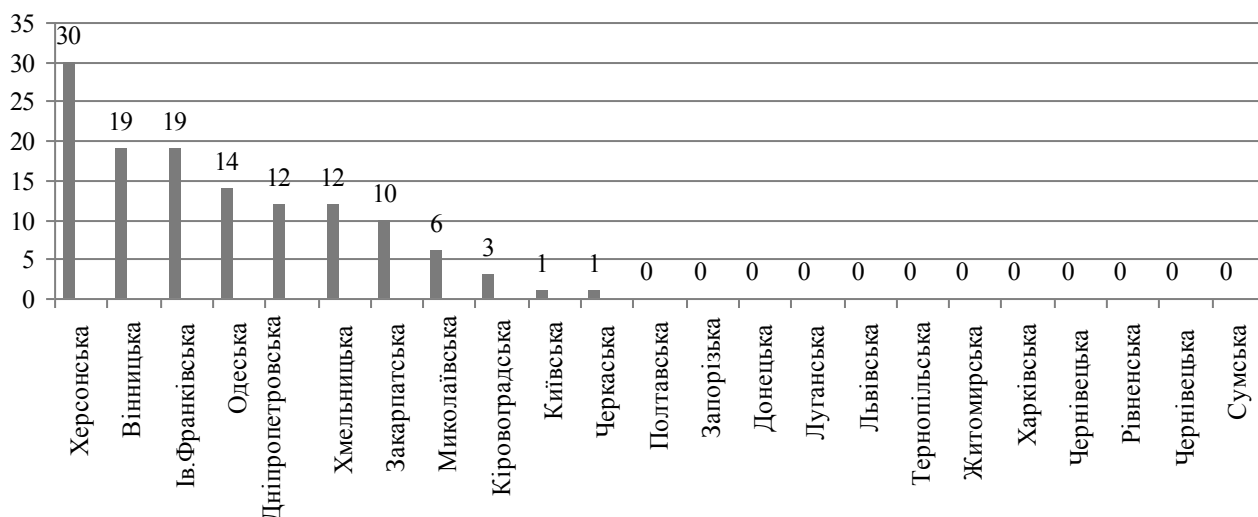


Рис. 2.3. Нова потужність об'єктів відновлювальних джерел енергії, введена у 2017 р., МВт  
Джерело: узагальнено авторами за даними [11; 29]

Стратегія передбачає, що розвиток ВДЕ забезпечить значний ефект скорочення використання традиційних джерел енергії, викидів шкідливих та парникових газів, покращить загальний екологічний стан навколишнього середовища. Також Уряд України затвердив План заходів з імплементації Директиви Європейського Парламенту та Ради 2009/28/ЄС [7], згідно чого Україна взяла на себе зобов'язання до 2020 р. досягти рівня 11 % енергії, виробленої з відновлюваних джерел енергії в

загальній структурі енергоспоживання країни, що слугуватиме потужним стимулом для подальшого розвитку використання відновлюваних джерел енергії в Україні [6]. 24 лютого 2018 р. Україна стала членом Міжнародного агентства з відновлювальних джерел енергії (IRENA) та отримала доступ до інформації агентства щодо використання ВДЕ, результатів новітніх досліджень та передового досвіду, а також прогресивних механізмів фінансування розвитку альтернативної енергетики. Також експерти з агентства IRENA долучатимуться до покращення нормативно-правової бази України у сфері відновлюваної енергетики [5]. Як вже зазначалось, в Україні спостерігається поступове зростання встановлених потужностей ВДЕ, але складна економічна ситуація та воєнні дії на сході країни не сприятимуть повному досягненню цілей, прийнятих у Національному плані дій з відновлюваної енергетики на період до 2020 р. (табл. 2.7).

*Таблиця 2.7*

**Виробництво електроенергії та потужності ВДЕ, 2016 – 2020 рр.**

Виробництво електроенергії та потужності	2016 р.		2017 р.		2018 р.		2019 р.		2020 р.	
	МВт	ГВт-г	МВт	ГВт-г	МВт	ГВт-г	МВт	ГВт-г	МВ	ГВт-г
ВДЕ	3097	6526	3749	8278	4391	9864	5035	11425	5700	13000

*Джерело: [24]*

Економічно доцільним потенціалом впровадження ВДЕ в Україні станом на 2030 р. вважається у 16 – 22 ГВт, в порівнянні з 1,1 ГВт, що фактично встановлені на кінець 2016 р. (табл. 2.8). Потенціал впровадження ВДЕ в теплоенергетиці навіть більший та за оцінками експертів може повністю замінити традиційні джерела енергії до 2030 р. Так, за оцінками IRENA, у 2030 р. з ВДЕ може бути вироблено близько 57 млн. Гкал теплової енергії, з яких значна частка (32,7 млн. Гкал) – біомаса. Виконання даного прогнозу дозволить економити близько 7 млрд. м<sup>3</sup> природного газу щороку [24].

*Таблиця 2.8*

**Використання відновлювальних джерел енергії в Україні, 2001 – 2030 рр.**

Відновлювальні джерела енергії	Виробництво електричної і теплової енергії по роках							
	2001 р.		2010 р.		2020 р.		2030 р.	
Енергія сонця	0,002	0,04	0,11	1,18	0,9	3,96	2,68	7,7
в т.ч.:								
електроенергія	–	–	0,01	0,11	0,2	0,88	0,72	2,1
теплова енергія	0,002	0,4	0,1	1,07	0,7	3,08	1,96	5,6
Енергія вітру	0,01	0,2	0,6	6,41	4,3	18,94	8,9	25,4
Геотермальна енергія	0,004	0,007	1,0	10,68	5,1	22,47	7,03	20,06
Гідроенергетика	4,53	81,82	4,95	52,88	6,1	26,87	7,19	20,54
в.т.ч.								
мала	0,17	3,07	0,15	1,6	0,5	2,2	0,67	1,91
велика	4,36	78,75	4,8	51,28	5,6	24,67	6,52	18,63
Енергія біомаси	0,99	17,87	2,7	28,85	6,3	27,76	9,2	26,3
Всього	5,54	100	9,36	100	22,7	100	35	100

*Джерело: [24]*

Загально відомо, що до альтернативних джерел енергії відносяться невикопні джерела енергії, які постійно існують або періодично з'являються в навколишньому природному середовищі: енергія сонця, вітру, геотермальна, аеротермальна, гідротермальна, енергія хвиль та припливів, гідроенергія, енергія біомаси, газу з органічних відходів, газу каналізаційно-очисних станцій, біогазів [25].

Для України біоенергетика є одним із стратегічних напрямків розвитку сектору ВДЕ. Проте, темпи розвитку біоенергетики в Україні досі істотно відстають від європейських: частка біомаси у валовому кінцевому енергоспоживанні становить 1,78 %. Щорічно для виробництва енергії використовується близько 2 млн. т у.п./рік біомаси різних видів. На деревину припадає найвищий відсоток використання економічно доцільного потенціалу – 80 %, тоді як для інших видів біомаси (за винятком лушпиння соняшника) цей показник на порядок нижче. Найменш активно (на рівні 1 %) реалізується енергетичний потенціал соломи зернових культур та ріпаку [20].

Річний технічно-досяжний енергетичний потенціал твердої біомаси, який є практично у всіх регіонах України, є еквівалентним 18 млн. т н.е., а його використання дає змогу щорічно заощаджувати близько 22 млрд. м<sup>3</sup> природного газу. Найбільший потенціал твердої біомаси зосереджений у Полтавській, Дніпропетровській, Вінницькій та Кіровоградській областях і становить понад 1 млн. т н.е./рік [14; 18].

Україна має необхідні умови для виробництва рідких біопалив, як за земельними ресурсами і рослинним потенціалом, так і за наявністю власних виробничих потужностей. Енергетичні рослини вирощуються з метою виробництва біодизельного пального (ріпак, соняшник), біоетанолу (кукурудза, пшениця) та біогазу (кукурудза). Одним із напрямків використання біомаси є її переробка у рідке біопаливо: біодизель та біоетанол [23].

Вже нині потенціал біомаси в Україні, придатний для рентабельного виробництва рідких біопалив (біоетанолу і біодизелю), дає підстави стверджувати про перспективність цього напрямку. Річний технічно-досяжний енергетичний потенціал рідкого біопалива в Україні є еквівалентним 1 млн. т н.е. Його використання дає змогу щорічно заощаджувати близько 1,2 млрд. м<sup>3</sup> природного газу. Найбільший потенціал рідкого біопалива зосереджений у Вінницькій та Полтавській областях, де він становить понад 90 тис. т н.е./рік.

Останніми роками у світі дедалі більше поширюється застосування біоетанолу як компонента моторних палив. В Україні створено потужності для виробництва паливного етанолу на рівні 160 тис. т/рік та нормативну базу для використання його як біопалива. Розширення площ для вирощування ріпаку та організації виробництва біодизельного пального із застосуванням новітніх світових технологій та обладнання, вважатиметься одним із пріоритетних стратегічних завдань держави в галузі енергетики.

В Україні потенційні можливості цього напрямку величезні: тільки завдяки переробці 10 млн. т кукурудзи Україна може виробляти не менше 4 млн т. біоетанолу. Доречним буде використання надлишків зерна (які не переробляються в харчові продукти або на корм), цукрових буряків, а точніше патоки, яка виробляється при їх переробці. Із одного Га цукрових буряків можна виготовити 4 тис. літрів біоетанолу.

Протягом останніх років виробництво паливного біоетанолу налагоджено на чотирьох спиртових заводах (Гайсинський, Зарубинський, Івашківський спиртові заводи, Хоростківське МПД). Планується в найближчі три роки залучити до виробництва паливного біоетанолу ще 8 спиртових заводів. Використання рідкого біопалива дасть змогу зменшити викиди в атмосферу парникових газів, буде мати позитивний вплив на скорочення імпорту нафтопродуктів і дозволить нашій країні виконати зобов'язання щодо імплементації Директив ЄС 2009/28/ЄС про запровадження біопалива, яка вимагає до 2020 р. наростити частку біоетанолу в автомобільному паливі до 10 % [7].

Біогаз в Україні має дуже великий відновлюваний потенціал, який зосереджений у Дніпропетровській, Донецькій та Київській областях і становить понад 150 тис. т н.е./рік. Річний теоретичний потенціал біогазу в Україні становить 3,2 млрд. м<sup>3</sup>. Виробництво енергії з біогазу не шкідливе для оточуючого середовища, оскільки не спричиняє додаткову емісію парникового газу СО<sub>2</sub> і зменшує кількість органічних відходів. Ефективним шляхом доповнення та заміни традиційних паливно-енергетичних ресурсів є виробництво та використання біогазу, який утворюється в результаті застосування технологій метанового зброджування тваринницької біомаси і на 60 – 70 % складається з метану.

Іншим джерелом біогазу є звалища сміття на полігонах твердих побутових відходів [12; 20]. Але, поки в Україні вирішують – куди подіти сміття, у країнах ЄС думають – де його взяти. У розвинутих країнах перероблені відходи давно стали повноцінним продуктом міжнародної торгівлі та джерелом отримання теплової та електроенергії.

Будівництво систем збору та утилізації біогазу на полігонах твердих побутових відходів увійшло в практику розвинутих країн світу. Зокрема, у США з метою отримання теплової та електричної енергії на господарських і житлових об'єктах використовуються понад 150 великих полігонів. Кількість біогазових установок у цій країні налічує близько 244 одиниць, які виробляють 4,3 млрд м<sup>3</sup>/рік. У Німеччині діє близько 4 тисяч біогазових установок (половина працюючих у світі). Щороку 280 заводів виробляють біогаз у обсязі 3,7 млн. т. За прогнозами фахівців, до 2020 р. у Німеччині буде функціонувати 20 тисяч біогазових установок.

Україна на законодавчому рівні вже займається імплементацією засад щодо перероби твердих побутових відходів. Так, КМУ була затверджена програма поводження з твердими побутовими відходами, було схвалено Концепцію загальнодержавної програми поводження з відходами на 2013 – 2020 рр. [29]. Існує і національний проект “Чисте місто”, метою якого є реалізації проектів з будівництва 10 нових сучасних комплексів з переробки твердих побутових відходів. Цікавою є Програма поводження з твердими побутовими відходами Чернігівської області на 2013 – 2020 рр.. Пріоритетним напрямком програми є організація у населених пунктах області майданчиків для роздільного збирання твердих побутових відходів зі встановленням на них спеціальних контейнерів. Збираються побудувати сміттесортувальні та сміттєперевантажувальні станції та заводи з переробки та утилізації твердих побутових відходів.

Найбільш швидко серед негорючих ВДЕ в світі розвивається вітроенергетика [21; 24]. За різними оцінками, щорічні темпи її зростання складають від 25 % до 50 %. Значні темпи розвитку вітроенергетики пояснюється тим, що їй властиві найменші питомі капіталовкладення в порівнянні з іншими видами ВДЕ. Сумарна світова встановлена потужність великих ВЕУ й ВЕС, за різними

оцінками, становить від 10 до 20 ГВт. Зростає не тільки сумарна потужність вітряних установок, але і їхня одинична потужність, що перевищила 1 МВт. Сьогодні вітроенергетика використовується більш ніж у 30 країнах. Світовими лідерами із застосування енергії вітру є США, Німеччина, Нідерланди, Данія, Індія. У багатьох країнах виникла нова галузь – вітроенергетичне машинобудування. Очевидно, і в найближчій перспективі вітроенергетика збереже свої передові позиції [23].

Процес будівництва української вітроенергетики розпочався у 1996 р., коли була запроєктована Новоазовська ВЕС проектною потужністю 50 МВт; 1997 р. – запрацювала Трускавецька ВЕС; в 2000 році в Україні працювало вже 134 турбіни та було закладено близько 100 фундаментів під турбіни потужністю 100 кВт; у 1998 – 1999 рр. розпочали роботу ще три нові ВЕС.

Значне зростання будівництва вітроелектростанцій спостерігалось з 2009 р. після запровадження Урядом України “зеленого тарифу” [3; 9]. Інститутом відновлюваної енергетики НАН України складена карта вітроенергетичного потенціалу нашої країни [14]. Найбільш привабливими регіонами для використання енергії вітру є узбережжя Чорного та Азовського морів, гірські райони тимчасово окупованої АР Крим, територія Карпатських гір, Одеська, Херсонська та Миколаївська області [13].

У 2017 р. потужність вітроенергетики України перевищила 500 МВт (з урахуванням Криму і непідконтрольних територій Донбасу – 594,07 МВт). За кількістю встановлених потужностей лідирує Запорізька область [18]. Збільшилися вітроенергетичні потужності у Херсонській, Миколаївській та Львівській областях. А в Івано-Франківській області була встановлена перша вітротурбіна.

На кінець 2017 р. електроенергію в Об'єднану енергетичну систему (ОЕС) України за “зеленим” тарифом поставляли 273,83 МВт вітроенергетичних потужностей. За минулий рік вітроелектростанції поставили в мережу 970,496 млн. кВт-год. електроенергії. Цього вистало, аби забезпечити електроенергією понад 207 тис. українських домогосподарств (при середньому споживанні 400 кВт-год./місяць).

2017 р. відзначився й випуском у Краматорську першої української вітротурбіни потужністю 3,2 МВт, на заводі випустили вже 22 вітротурбіни одиничною потужністю 2 МВт і 76 вітроустановок по 2,5 МВт кожна. У 2018 р. планується установка першої вітротурбіни потужністю 3,5 МВт, а в 2019 р. – потужністю 4 МВт. Також планують розширити існуючі потужності і випускати вітроустановки потужністю до 4,5 МВт.

У 2017 р. ввели в експлуатацію 4 вітропарки: у Херсонській (перша черга Новотроїцької ВЕС, загальна потужність якої складе 69 МВт), у Миколаївській (друга черга Причорноморського вітропарку, загальна потужність якого – 20,8 МВт), у Львівській (ВЕС “Старий Самбір-2”, загальною потужністю 20,7 МВт) та Івано-Франківській областях (перша черга ВЕС “Шевченкове-1”, що матиме загальну потужність 6,4 МВт) [29].

Загалом встановлена потужність об'єктів відновлюваної енергетики в Україні, які працюють за “зеленим” тарифом, становить 1183,467 МВт (станом на кінець 2017 р.). Частка ВДЕ в загальному обсязі відпущеної електроенергії становить близько 1,47 %. Найбільша частка припадає на вітрові та сонячні електростанції. За даними НКРЕКУ, в 2017 р. вони виробили 1681,232 МВт-год. електроенергії. За минулий рік приріст встановлених потужностей ВДЕ склав 301,41 МВт проти 120,649 МВт у 2016 р. [11].

Україна має значний потенціал використання ресурсів малих річок, що складає майже 28 % загального гідропотенціалу всіх рік України. При використанні гідропотенціалу малих річок України можна досягти значної економії паливно-енергетичних ресурсів, причому розвиток малої гідроенергетики сприятиме децентралізації загальної енергетичної системи, чим вирішить ряд проблем в енергопостачанні віддалених і важкодоступних районів сільської місцевості.

Мікро-, міні- та малі ГЕС можуть стати потужною основою енергозабезпечення для всіх регіонів Західної України, а для деяких районів Закарпатської та Чернівецької областей – джерелом повного енергозабезпечення. Для вирішення проблем розвитку малої гідроенергетики Україна має достатній науково-технічний потенціал і значний досвід в галузі проектування і розробки конструкцій гідротурбінного обладнання. Українські підприємства мають необхідний виробничий потенціал для оснащення малих ГЕС вітчизняним обладнанням. Станом на 2016 р. в Україні діяло більше 100 МГЕС із загальною встановленою потужністю близько 80 МВт, якими вироблено у 2016 р. більше 250 млн. кВт-год. При цьому, слід відзначити, що в 1960-х роках минулого сторіччя в Україні існувало більше 1000 малих ГЕС. Деякі з них є можливість відновити.

Проведений аналіз дає можливість стверджувати, що сприятливими факторами для розвитку ВДЕ в Україні є, по-перше, найпотужніший потенціал, що дає можливість заміщення 68,6 млн. т. нафтового еквіваленту (близько 50 % загального енергоспоживання в Україні); по-друге, “зелений” тариф з прив'язкою до курсу євро, що гарантується державою до 2030 р.; по-третє, гарантована купівля електроенергії ДП “Енергоринок” до 2030 р.; по-четверте, привабливість залучення у будівництво інвестиційних нових потужностей.

Отже, освоєння і розвиток нетрадиційних і відновлюваних джерел енергії розглядається як важливий фактор підвищення рівня енергетичної безпеки України та потужний фактор впливу на збалансований сталий розвиток господарського комплексу регіонів України.

**2.4. Економічна оцінка використання відновлюваних джерел енергії**

© Башинська Ю. І.

*к.е.н., м.н.с. відділу регіональної екологічної політики та природокористування,  
ДУ "Інститут регіональних досліджень ім. М. І. Долишнього НАН України", м. Львів, Україна*

У час енергетичної кризи в Україні доцільним є застосування альтернативних до традиційних джерел енергії для диверсифікації енергопостачання та налагодження надійного енергозабезпечення країни. Світовий досвід розвитку відновлюваної енергетики засвідчує, що найоптимальнішою альтернативою викопних енергоносіїв на даний час є екологічно безпечні відновлювані джерела енергії (ВДЕ).

Відновлювані джерела енергії – це природні, практично невичерпні, екологічно безпечні, похідні від сонячної активності та гравітаційної сили й тепла Землі, джерела енергії, які постійно поновлюються і можуть бути використані для виробництва теплової та електричної енергії.

Відповідно, відновлювана енергетика – це підгалузь енергетики, яка забезпечує вироблення, перетворення, розподіл і споживання різних видів відновлюваної енергії.

Природно-ресурсний потенціал відновлюваної енергетики – виявлені (досліджені), запаси відновлюваних джерел енергії, у тому числі неосвоені, які можуть бути використані для генерації тепло- та електроенергії з урахуванням технічних можливостей та економічної доцільності [1, с. 23 – 24].

Найбільш вичерпний перелік видів відновлюваних джерел енергії було представлено Міжнародним енергетичним агентством (МЕА) у 2002 р. Відповідно до класифікації МЕА до ВДЕ належать наступні види:

1. Відновлювані джерела енергії, які спалюються, та відходи біомаси, а саме:

– тверда біомаса і тваринні продукти (біологічна маса, у тому числі будь-які матеріали рослинного походження, що використовуються безпосередньо як паливо або перетворюються на інші форми перед спалюванням (деревина, рослинні відходи і відходи тваринного походження; деревне вугілля, яке одержують з твердої біомаси);

– газ або рідина з біомаси, що отримуються у процесі анаеробної ферментації біомаси й твердих відходів і спалюється для виробництва електроенергії чи тепла;

– муніципальні відходи – відходи житлового, комерційного і громадського секторів, що спалюються для продукування теплової та електричної енергії;

– промислові відходи – тверді та рідкі матеріали, що спалюються безпосередньо для виробництва теплової й електричної енергії на спеціалізованих підприємствах.

2. Гідроенергія – потенційна або кінетична енергія води, перетворена на електричну енергію за допомогою великих і малих гідроелектростанцій.

3. Геотермальна енергія – тепла енергія, що надходить з надр Землі, зазвичай у вигляді гарячої пари або води. Використовується для виробництва електроенергії або безпосередньо як джерело тепла для систем тепlopостачання, потреб сільського господарства тощо.

4. Сонячна енергія – випромінювання Сонця, що використовується в якості теплової та електричної енергії.

5. Енергія вітру – кінетична енергія вітру, що використовується для виробництва електричної енергії у вітрових турбінах.

6. Енергія припливів, морських хвиль і океану – механічна енергія припливних потоків або хвиль, що використовується для виробництва електричної енергії [4].

Серед усіх видів ВДЕ в Україні найбільш доступним до використання є біомаса, а саме: солома зернових культур, ріпаку, відходи кукурудзи, соняшника (лушпиння, качани), деревна біомаса та енергетичні культури.

Варто підкреслити нерівномірність розподілу біомаси по території України. Північно-західні області України з найвищим рівнем лісистості території у країні переважають за деревною біомасою, а південно-східні та центральні регіони, з більш розвиненим сільським господарством, мають вищий потенціал біомаси рослинництва і тваринництва [6, с. 406]. Біомасу доцільно переробляти на біопаливо.

У табл. 2.9 подано енергетичний потенціал можливого виробництва біопалива з біомаси в Україні.

Згідно з Національним планом дій з відновлюваної енергетики до 2020 р. в Україні заплановано замінити за допомогою біомаси 5,5 млрд. м<sup>3</sup> природного газу на рік. А відповідно до Енергетичної Стратегії України у 2035 р. обсяги споживання вугілля та біопалива мають зрівнятися.

Втім, на кінець 2017 р. біоенергетика заміщувала близько 2 млрд м<sup>3</sup> природного газу на рік.

Отже, необхідно реалізовувати потенціал біоенергетики у більшій мірі та нарощувати потужності виробництва енергії з біомаси.



*Таблиця 2.9*

**Енергетичний потенціал біопалива в Україні**

Вид біопалива	Енергетичний потенціал, млн. т. у.п.		
	Теоретичний	Технічний	Економічно обґрунтований
Біодизель	0,5	0,5	0,25
Біостанол	2,33	2,33	0,86
Біогаз з гною	3,27	2,45	0,76
Біогаз з полігонів ТПВ	0,77	0,46	0,26
Біогаз з осадів станцій аерації	0,21	0,13	0,09
Всього	7,08	5,87	2,22

*Джерело: узагальнено автором за даними [6, с. 405]*

Так, у північно-західних областях України економічно доцільно активізувати виробництво паливних пелет і брикетів з відходів деревообробної промисловості (тирса, тріски, стружка, відходи від виробництва меблів, кора, гілки та обрізки дерев та кущів і таке інше). Це матиме низку позитивних економічних ефектів для підприємств деревообробки регіону: заощадження коштів на витратах на вивезення відходів, створення нового напрямку виробництва на підприємстві як додаткове джерело доходів, заощадження на витратах на опалення завдяки можливості використовувати біопаливо власного виробництва. У свою чергу, це матиме позитивний соціально-економічний ефект на регіональну економіку: створення нових робочих місць, збільшення податкових надходжень до місцевих та обласних бюджетів, зменшення використання викопних енергоресурсів.

У південно-східних та центральних областях України доцільним є виробництво паливних гранул та брикетів з відходів сільського господарства (солома, лушпиння і т.д.), які є дешевим паливом для осушки зерна, опалення приміщень.

Крім цього, актуальною проблемою в наш час залишається утилізація гною і посліду на птахофабриках і тваринницьких фермах. В Україні на самих лише птахофабриках та свинофермах утворюється понад 3 млн. т органічних відходів у вигляді сухої речовини, а їх переробка дала б змогу одержати близько 1 млн т у.п. біогазу, що еквівалентно 8 млрд. кВт-год. електроенергії [3].

Для України економічно ефективною є концепція енергозабезпечення сіл за допомогою біомаси на зразок Польщі. Пропонується побудова однієї біогазової установки потужністю 1 МВт на одну сільраду. В якості палива для цієї установки будуть використовуватись солома, відходи кукурудзи та інших сільськогосподарських культур або спеціально вирощені енергетичні культури на землях, непридатних для сільського господарства. У якості субстрату для біогазової установки буде завозитись гній та осад стоків з очисних споруд навколишніх сіл. Передбачається, що з установки такого типу можна буде отримувати 0,5 – 1 млн. м<sup>3</sup> біогазу щороку. Після очищення біогаз можна буде транспортувати до найближчих газоспалювальних систем або спалювати на місці у когенераційній установці, виробляючи електроенергію і теплову енергію. Крім економічних переваг, такі проекти підвищують енергетичну безпеку регіону, країни в цілому, оскільки сприяють диверсифікації енергопостачання. Також вирішується проблема утилізації відходів, що має позитивний екологічний ефект [6, с. 460 – 461].

Окрім біоенергетики, в Україні економічно доцільно розвивати й усі інші види відновлюваної енергетики відповідно до територіального розподілу природно-ресурсного потенціалу.

Найбільш перспективним регіоном для розвитку малої гідроенергетики є Карпатський регіон України, де зосереджений найвищий гідроенергетичний потенціал країни – близько 72 % загальноукраїнського показника. Зокрема, найкращими природно-технічними характеристиками для будівництва малих ГЕС володіють ріки Закарпатської, Львівської, Івано-Франківської та Чернівецької областей. Більшість з цих малих рік регіону припадає на басейн річки Дністер. На жаль, малі ГЕС, що були побудовані у середині ХХ ст., у теперішній час не експлуатуються через повний знос основного обладнання або потребують ремонту та реконструкції. Крім цього, сучасні проекти з будівництва нових малих ГЕС на річках Карпатського регіону реалізуються дуже повільно або ж не реалізуються зовсім у зв'язку зі спротивом місцевих громад.

Вітроенергетичний потенціал є достатньо високим для спорудження промислових вітроелектростанцій (ВЕС) в АР Крим, Карпатському регіоні України, узбережжі Чорного, Азовського морів, а також Донбасі. Проте, у більшості областей України є можливість використання малих горизонтально-осьових та вертикальних вітроенергетичних установок потужністю до 110 кВт для забезпечення електроенергією приватних домогосподарств. Використання технічно-досяжного потенціалу вітроенергетики України дало б змогу замінити 18 млрд м<sup>3</sup> природного газу в рік.

Доцільно зазначити, що вітроенергетика в Україні розвивається досить швидкими темпами. На даний час встановлена потужність усіх ВЕС України дорівнює майже 600 МВт. У 2017 р. було введено в експлуатацію чотири нові вітропарки: перша черга Новотроїцької ВЕС, проектна потужність якої дорівнюватиме 69 МВт у Херсонській області, друга черга Причорноморського вітропарку, загальною потужністю 20,8 МВт у Миколаївській області, ВЕС “Старий Самбір-2” потужністю 20,7 МВт у Львівській області та перша черга ВЕС “Шевченкове-1”, що матиме загальну потужність 6,4 МВт в Івано-Франківській області.

За рівнем потенціалу сонячної енергії в Україні прийнято виділяти чотири зони. До першої та другої зони відносяться усі південні області України та АР Крим, де рівень сонячної інсоляції є найвищим впродовж року та доцільним для будівництва потужних сонячних електростанцій. До третьої зони належать центральні та західні області України, а до четвертої зони з найнижчим рівнем сонячної радіації відносяться північні області України. Використання сонячної енергії по всій території України є доцільним для забезпечення енергією приватних домогосподарств, зокрема гарячого водопостачання. За рахунок сонячної енергетики в Україні можна замінити близько 5 млрд. м<sup>3</sup> природного газу щороку.

Позитивно, що в Україні впродовж останніх п'яти років спостерігається тенденція постійного зростання кількості об'єктів, що генерують теплову та електроенергію з відновлюваних джерел. За даними Держагентства з енергоефективності та енергозбереження України, у результаті 2016 р. в Україні було встановлено 120 МВт нових потужностей об'єктів, що виробляють електроенергію з відновлюваних джерел та додатково 1,6 ГВт нових теплових потужностей, що працюють на відновлюваних джерелах енергії [5]. У 2017 р. було введено в експлуатацію в два рази більше нових потужностей відновлюваної електроенергетики (257 МВт) і 1,8 ГВт потужностей теплової генерації. У виробництво тепла з альтернативних видів палива було залучено 440 млн. євро додаткових інвестицій. Майже аналогічна сума була інвестована у виробництво електричної енергії. Втім, необхідно ще близько 10 млрд. євро інвестицій для виконання Національного плану дій відновлюваної енергетики на період до 2020 р. щодо збільшення частки ВДЕ в кінцевому споживанні енергії до 11 % у 2020 р. [7].

Відповідно до світових тенденцій зниження вартості технологій відновлюваної енергетики, в Україні відновлювана енергетика також стає все дедалі більш конкурентоспроможною у порівнянні з традиційною. Якщо до вартості проектів традиційної енергетики включати витрати на подолання екологічної шкоди від таких об'єктів, а також вартість палива, що постійно зростає, та труднощі з їх поставки (антрацитове вугілля, збагачений уран), очевидно, що об'єкти відновлюваної енергетики є більш інвестиційно привабливими для інвесторів, зокрема іноземних.

Україна відзначається достатньо високим потенціалом ВДЕ та має можливість заміщення 98 млн т умовного палива в рік. Загальнонаціональний курс, взятий на поступове заміщення традиційних джерел енергії відновлюваними є цілком досяжним та відповідає євроінтеграційному напрямку розвитку України та її міжнародним зобов'язанням.

З метою визначення економічної доцільності використання ВДЕ в Україні проведено економічну оцінку технічно досяжного потенціалу ВДЕ для всіх областей України через застосування вартісного виразу нафтового еквіваленту однієї тонни умовного палива. Для проведення економічної оцінки потенціалу ВДЕ (оцінку проведено за станом на березень 2018 р.) було використано показник ціни бареля нафти марки Brent на Лондонській фондовій біржі. Середня ціна нафти у березні 2018 р. на цій міжнародній біржі становила 65,8 дол. США/барель. Для переведення отриманих даних у національну валюту взято середній курс гривні до долара США за той же період, що дорівнював 26,5 грн./дол. США.

Економічну оцінку усіх складових потенціалу ВДЕ було здійснено за допомогою нижче наведеної формули:

$$E_k = ((P \cdot k) \cdot C) \cdot V, \quad (2.1)$$

де  $E_k$  – економічний вираз потенціалу ВДЕ;

$P$  – технічно-досяжний потенціал ВДЕ;

$k$  – коефіцієнт для переведення тонни умовного палива в барелі нафтового еквівалента, що дорівнює 4,79;

$C$  – ціна за 1 барель нафти в дол. США;

$V$  – курс гривні до дол. США.

Результати проведеного дослідження подані у табл. 2.10.

Отже, загальний технічно-досяжний потенціал ВДЕ України оцінюється в 822 трлн. грн.

Найвищі показники технічно-досяжного потенціалу ВДЕ та відповідно їх економічна вартість є в АР Крим, Запорізькій, Донецькій, Миколаївській, Херсонській та Дніпровській областях. Проте, обсяги споживання органічного палива в цих областях також є серед найвищих в Україні, тому лідерами із заміщення органічного палива за рахунок ВДЕ є інші області, де рівень споживання традиційних енергоресурсів є нижчим, а потенціал ВДЕ також високий.

*Таблиця 2.10*

**Економічна оцінка технічно-досяжного потенціалу відновлюваних джерел енергії в Україні, 2018 р.**

Область	Технічно-досяжний потенціал, т у.п./рік	Економічна оцінка, млрд. грн./рік
АР Крим	8160000	68155,0
Вінницька	2700000	22551,3
Волинська	2050000	17122,3
Дніпровська	5550000	46355,4
Донецька	7090000	59218,0
Житомирська	2480000	20713,8
Закарпатська	3270000	27312,1
Запорізька	7630000	63728,2
Івано-Франківська	1740000	14533,0
Київська	4540000	37919,5
Кіровоградська	3130000	26142,8
Луганська	3760000	31404,7
Львівська	4270000	35664,4
Миколаївська	7040000	58800,4
Одеська	3850000	32156,4
Полтавська	3810000	31822,4
Рівненська	2280000	19043,3
Сумська	2510000	20964,3
Тернопільська	1640000	13697,8
Харківська	4800000	40091,2
Херсонська	7080000	59134,4
Хмельницька	2120000	17706,9
Черкаська	2510000	20964,3
Чернівецька	1730000	14449,5
Чернігівська	2680000	22384,2
Всього	98420000	822035,6

*Джерело: розраховано автором за даними [2]*

Отже, найвищі показники можливого рівня заміщення органічного палива за рахунок ВДЕ у наступних областях: Закарпатська – 253,5 %; Херсонська – 204 %; АР Крим – 193 %; Миколаївська – 134 %; Чернівецька – 125,4 %; Кіровоградська – 109,1 %; Житомирська – 100,8 %; Рівненська – 99,6 %; Хмельницька – 82,2 % [2].

Отже, вісім областей України можуть повністю відмовитись від традиційних енергоресурсів за умови використання наявного в цих областях потенціалу ВДЕ. Слід зазначити, що дані заміщення розраховані на основі теперішніх обсягів споживання традиційних паливно-енергетичних ресурсів, коли енергоємність валового регіонального продукту не відповідає європейським стандартам. Оскільки в Україні запланована модернізація енергетичного сектору, зокрема зменшення понаднормових витрат енергії в тепло- та електромережах, зниження споживання енергоресурсів за рахунок заходів енергоефективності та енергозбереження, то очікується, що можливі обсяги заміщення традиційного палива за допомогою ВДЕ в Україні зростуть у всіх областях.

Отже, відновлювана енергетика в Україні має значні перспективи для розвитку з огляду на багатий природно-ресурсний потенціал, економічну доцільність його використання та інвестиційну привабливість проєктів зі спорудження об'єктів, що генерують енергію з відновлюваних джерел.

## **2.5. Відновлювальні джерела енергії: тенденції розвитку, інвестиції, smart grid**

© Рекова Н. Ю.

*д.е.н., професор, професор кафедри економіки підприємства,  
Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ, Україна*

© Клопов І. О.

*к.е.н., доцент, докторант Донбаська  
державна машинобудівна академія, м. Краматорськ, Україна*

Один з основних викликів для світової енергетики – значне зростання енергоспоживання в світі, обумовлений економічним розвитком і ростом населення планети. Незважаючи на зниження енергоємності в розвинених країнах, світовий попит на енергоресурси, за прогнозами, виросте до 2030 р. на 30 % до рівня 2014 р. до 2040 р. – на 37 % [9, 10]. Основним споживачем енергії залишиться промисловість – попит на енергоресурси підвищиться до 2040 р. на 40 %. Друге місце по енергоспоживанню займе транспортний сектор, третє – комерційні і житлові будівлі [12].

За останні 40 років світова структура споживання енергії зазнала суттєвих змін: країни ОЕСР скоротили темпи зростання попиту і частково замінили вугілля природним газом і відновлювальними джерелами енергії (ВДЕ), в той час як в Азії та Латинській Америці бурхливе економічне зростання привів до інтенсивного підвищення попиту на енергоресурси і збільшення частки вугілля в кінцевому споживанні (рис. 2.4) [16].

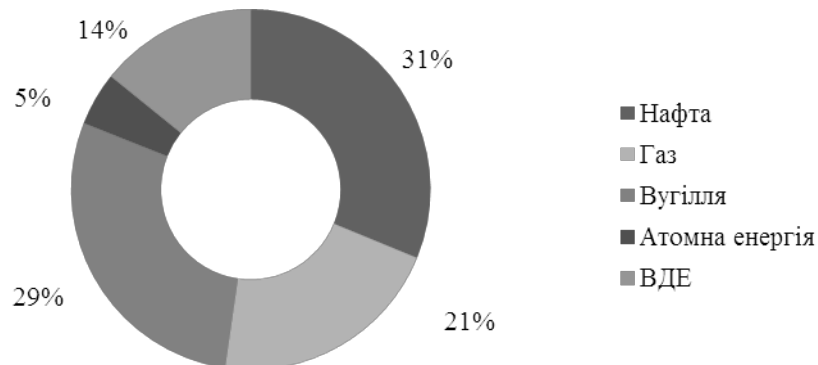


Рис. 2.4. Структура загального обсягу попиту на первинну енергію в світі, 2014 р., %  
Джерело: [16]

Прогнози розвитку енергоресурсів на найближчі 20 років суттєво варіюють, однак багато експертів сходяться на думці, що попит на атомну енергію залишиться на колишньому рівні або навіть трохи знизиться, на нафту і вугілля – скоротиться більш істотно, на природний газ і ВДЕ – виросте (рис. 2.5).

Ключовими трендами, які сприяють формуванню нового технологічного укладу в світі, стають підвищення технологічної ефективності і зниження собівартості рішень в галузі відновлюваної та малої енергетики; розвиток технологій виробництва відповідного устаткування: створення біоенергетичних установок, що генерують установок на рідкому і твердому біопаливі, вітроенергоустановок, сонячних батарей і колекторів, геотермальних установок, мікро- і міні-ГЕС, перетворювачі енергії океану.

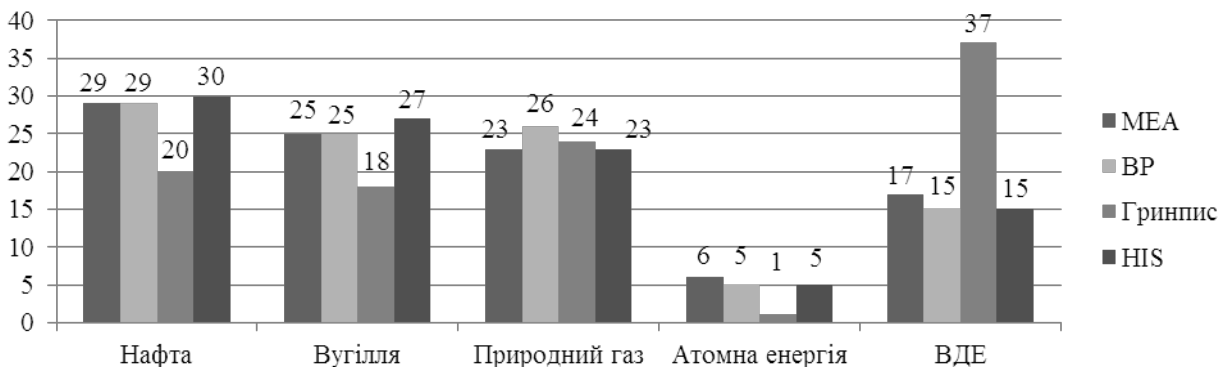


Рис. 2.5. Прогнозована структура попиту на первинну енергію, 2030 р., %  
Джерело: [6]

З урахуванням існуючих темпів вилучення доступних світових запасів вуглеводнів можна прогнозувати їх швидке вичерпання: вугілля – через 109 років, природного газу – через 54 роки, сирої нафти – через 53 роки (рис. 2.6). Зазначений прогнозний період може змінюватися як у більшу, так і в меншу сторону під впливом зовнішніх чинників: розвідки нових родовищ, появи нових технологій видобутку, введення “вуглецевого податку”, посилення природоохоронного законодавства та ін.

Отже, динаміка розвитку даного тренду є значним фактор невизначеності. Якщо розрахунки правильні, для пошуку нових джерел енергії і широкомасштабного впровадження альтернативних енергетичних технологій залишилося близько 50 років.

Вартість вироблення енергії з ВДЕ стрімко падає, що робить їх конкурентоспроможними в порівнянні з традиційними джерелами. Завдяки низьким витратам на обслуговування та експлуатацію об'єктів генерації на ВДЕ і нульовою вартістю енергоресурсів собівартість одержуваної енергії по закінченню періоду окупності капітальних витрат виявляється невисокою. За прогнозами, вже в короткостроковій перспективі електрика, що отримується за рахунок сонячної генерації, стане найдешевшою в багатьох регіонах світу [6].

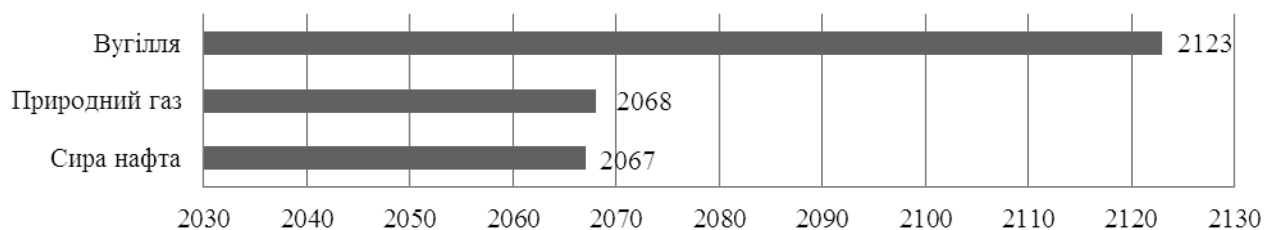


Рис. 2.6. Терміни вичерпання викопних видів палива, 2030 – 2130 рр.

Джерело: [7]

На рис. 2.7 представлена нормована собівартість електроенергії в США, ЄС та Китаї.

Як бачимо електростанції на основі енергії вітру за нормованою собівартістю поступаються тільки електростанціям на природному газі. Випереджаючи при цьому вугільні та атомні електростанції. За тенденції на 2018 р. вітрові електростанції також випереджають гідроелектростанції, на відміну від 2010 р. Проте незважаючи на позитивні тенденції більшість електростанцій на основі ВДЕ є аутсайдерами – сонячні електростанції, “офшорні” ВЕС.

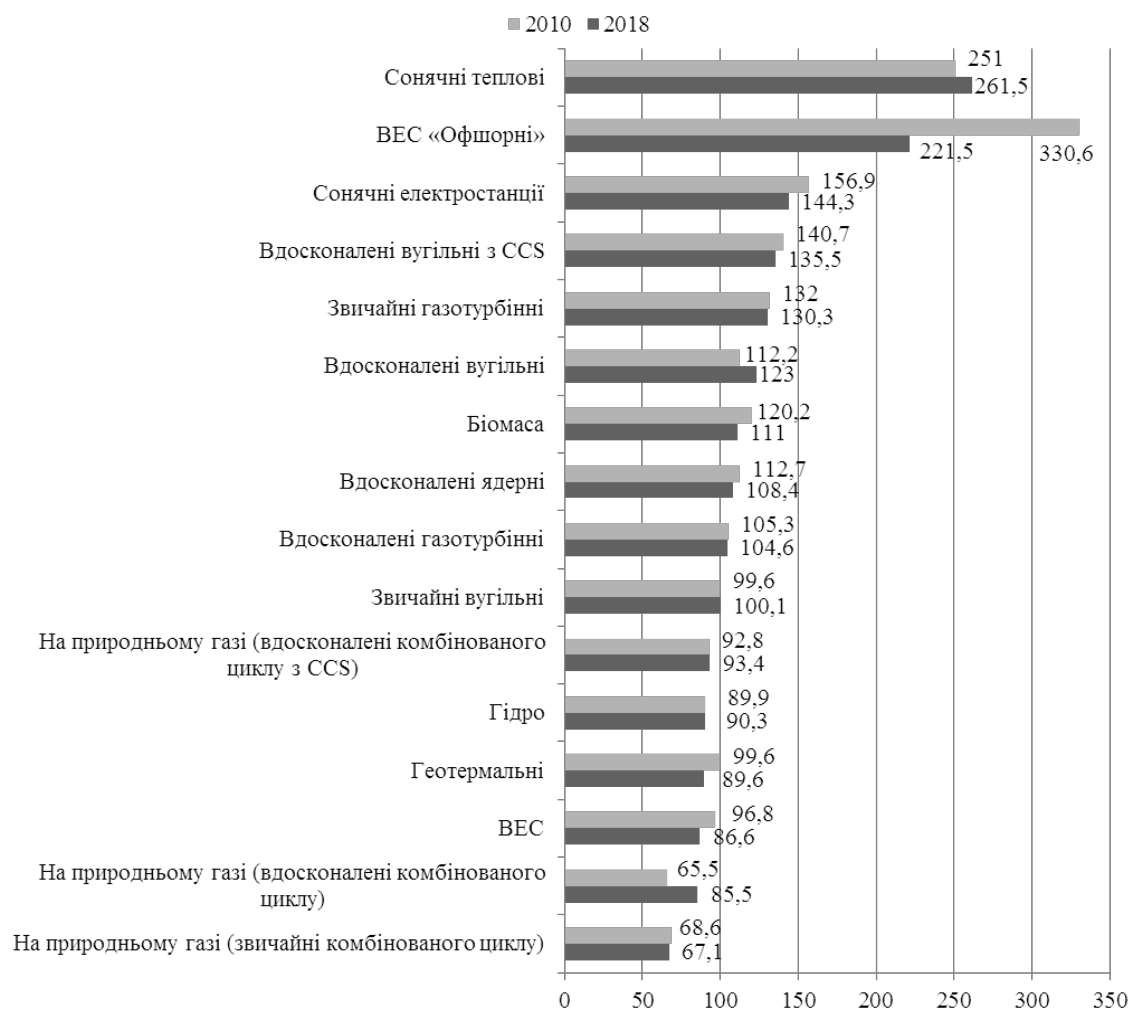


Рис. 2.7. Оцінка середньої нормованої собівартості електроенергії електростанцій в 2010 р. та електростанцій, що будуть введені в 2018 р., дол. США/МВт-год.

Джерело: [1; 2]

Масштаби використання ВДЕ повільно, але неухильно ростуть: їх частка в загальному обсязі первинних енергоресурсів, прогнозована фахівцями на 2020 р. [13], була досягнута вже в 2010 р. [17]. В даний час ВЕ продовжує демонструвати високі темпи зростання завдяки підвищенню технологічної та економічної ефективності і, як наслідок, зростаючу конкурентоспроможність рішень в цій сфері. Частка ВДЕ в світовому ТЕБ в 2014 р. – 18,4 %. При збереженні існуючих в країнах світу заходів

політики її середні щорічні темпи зростання складуть 0,17 % [10]. У загальносвітовому обсязі електрогенерації ВДЕ (включаючи великі ГЕС) зайняли в 2013 р. – 22 %, а до 2020 р. складуть 26 % [15]. Глобальні інвестиції в ВЕ в 2016 р. досягли 242 млрд. дол. США, першу чергу завдяки зростанню інтересу до сонячної енергетики і офшорної вітроенергетики (рис. 2.8).

Хоча глобальні інвестиції в нові відновлювальні електрогенеруючі і паливні потужності були приблизно вдвічі більше, ніж інвестиції в генерацію на копалин видах палива, інвестиції в нові установки для поновлюваних джерел енергії (без урахування гідроенергії більше 50 МВт) знизилися на 23 % в порівнянні з 2015 р.

Серед країн, що розвиваються і країн з економікою, що розвивається інвестиції у відновлювану енергетику впали на 30 %, до 116,6 млрд. дол. США, тоді як в розвинених країнах – на 14 % до 125 млрд. дол. США (рис. 2.8). Загальний нижчий рівень інвестицій в 2016 р. був викликаний головним чином уповільненням китайською та японською мовами ринках і в інших країнах з економікою, що розвивається, зокрема в Індії та Південній Африці (останній обумовлений головним чином затримкою аукціонів на проекти відновлюваної енергетики).

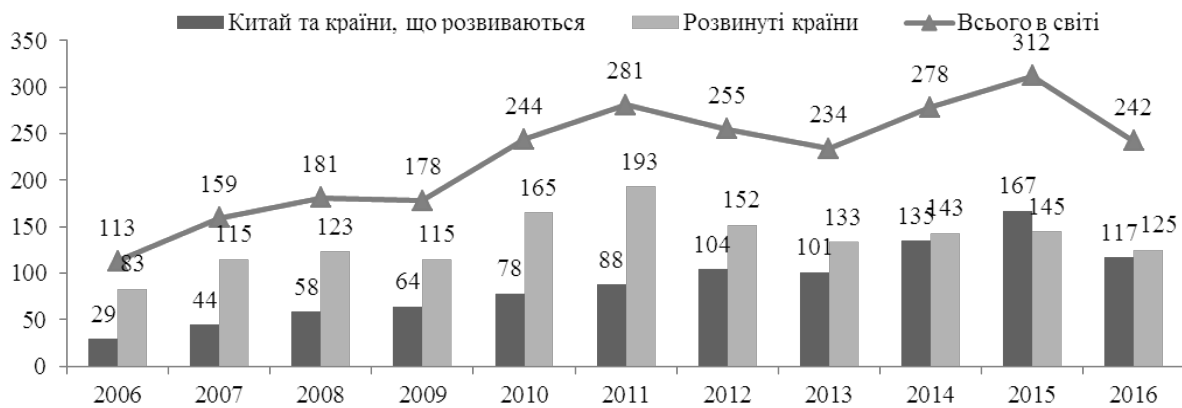


Рис. 2.8. Глобальні нові інвестиції у відновлювальні джерела енергії, 2006 – 2016 рр.

Джерело: [5]

Китай як і раніше забезпечує найвищий рівень інвестицій – 32 % всього фінансування використання відновлювальних джерел енергії в усьому світі, за винятком гідроенергетичних проектів більше 50 МВт. Але після рекордного рівня інвестицій в 2015 р. інвестиції в 2016 р. були частково перенаправлені на вдосконалення мережевої інфраструктури і реформи ринку електроенергії, щоб поліпшити використання існуючих ресурсів поновлюваних джерел енергії. У січні 2017 р. китайський уряд оголосив, що до 2020 р. він інвестує 360 млрд. дол. США, зміцнюючи свої позиції в якості світового лідера в області інвестицій в використання відновлювальних джерел енергії [5].

В Японії активізувався розвиток використання поновлюваних джерел енергії після ядерної катастрофи Фукусіма в 2011 р. На практиці, однак, комунальні підприємства продемонстрували опір цьому переходу, а в разі вітроенергетики були введені процедурні затримки, які перешкождали розвитку ринку. Перехід від політики щедрого стимулюючого тарифу до участі в тендерах привів в 2016 р. до майже 70 % скорочення інвестицій в об'єкти відновлюваної енергетики малої потужності (табл. 2.11).

Таблиця 2.11

**Річні інвестиції/Нові вводи потужностей/Виробництво, 2016 р.**

Показники	1	2	3	4	5
Інвестиції у відновлювану електроенергетику та паливо (без урахування гідроенергетики > 50 МВт)	Китай	США	Велико-британія	Японія	Німеччина
Інвестиції в відновлювальну електроенергетику та палива на одиницю ВВП	Болівія	Сенегал	Йорданія	Гондурас	Ісландія
Потужність геотермальної енергетики	Індонезія	Туреччина	Кенія	Мексика	Японія
Потужність гідроенергетики	Китай	Бразилія	Еквадор	Ефіопія	В'єтнам
Потужність сонячної PV енергетики	Китай	США	Японія	Індія	Велико-британія
Потужність концентрованої сонячної енергетики	Південна Африка	Китай	–	–	–
Потужність вітроенергетики	Китай	США	Німеччина	Індія	Бразилія
Потужності сонячного гарячого водопостачання	Китай	Туреччина	Бразилія	Індія	США
Виробництво біодизеля	Бразилія	Бразилія	Аргентина/Німеччина/Індонезія/Таїланд		
Виробництво паливного етанолу	Бразилія	Бразилія	Китай	Канада	Таїланд

Джерело: [5]

Зниження обсягів інвестицій спостерігається не в усьому світі. Європа збільшила інвестиції на 3 % (59,8 млрд дол. США), де лідирують Великобританія (24 млрд дол. США) і Німеччина (13,2 млрд дол. США). На інвестиційний клімат в Європі сильний вплив зробило розвиток прибережних вітряних електростанцій (25,9 млрд дол. США), які зросли на 53 % завдяки таким мегапроєкту, як будівництво Hornsea в Північному морі (потужність 1,2 ГВт). За оцінками, впровадження проєкту обійдеться в 5,7 млрд дол. США. Китай також інвестував 4,1 млрд дол. США в енергію, одержувану від морського вітру, що стало найвищим показником на сьогодні [4].

Магістральним трендом можна вважати також зростаючий вплив інтелектуальних систем на енергетику. Сьогодні в світі відбувається активний розвиток активно-адаптивних інтелектуальних систем і мереж для централізованого, розподіленого та індивідуального енергопостачання промислових і побутових об'єктів (технології активних і пасивних “розумних” будинків, інтелектуального електро-, тепло- і холодопостачання, освітлення, автоматизації, контролю та обліку і т.д.). Цифровизація систем контролю енергетичної інфраструктури, яка спирається на хмарні обчислення і роботу з великими даними, націлена на зниження вартості електроенергії та створення резерву потужності у кінцевих споживачів. У багатьох країнах створюються національні інтелектуальні електроенергетичні системи з активно-адаптивної мережею, в яких всі суб'єкти електроенергетичного ринку (генеруючі, мережеві організації, споживачі) беруть активну участь в процесах передачі і розподілу електроенергії.

У звіті Американської ради з енергоефективної економіки (American Council for an Energy-Efficient Economy, ACEEE) [8] показано, що поточний обсяг енергоспоживання в США можна знизити на 22 %, якщо впровадити так звану “інтелектуальну енергоефективність” (SmartGrid). Йдеться про те, щоб відмовитися від підходу до енергоефективності з точки зору окремих пристроїв та приладів, наприклад, автомобіля або холодильника і перейти до мислення категоріями складних систем (міст, транспортних систем і інших мереж), пов'язаних між собою за допомогою Інтернету та комп'ютерних технологій.

Технології Smart Grid забезпечують баланс електрогенерації і електроспоживання за рахунок оптимізації управління енергосистемою, в тому числі у випадках екстрених відключень. Цей інноваційний підхід в країнах ЄС та Північної Америки, незважаючи на високу вартість рішень, є сьогодні набагато кращим у порівнянні з екстенсивним нарощуванням генеруючих потужностей.

На сьогодні актуальним є документ “10 Steps to Smart Grids; EURELECTRIC DSOs' Ten-Year Road map for Smart Grid Deployment in the EU”. У відповідності до цього документу для реалізації інтелектуальних мереж на європейському ринку потрібно зробити 10 кроків (табл. 2.12), багато з яких тісно пов'язані між собою мають розвиватися одночасно [18]. Виділено три стадії розвитку SmartGrid: сприяння національним та загальноєвропейським рівням; розгортання в державах-членах ЄС; масштабна реалізація та комерціалізація на наддержавному рівні [3].

*Таблиця 2.12*

**10 кроків до Smart Grids**

Стадії розвитку	Крок	Роки									
		2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Масштабна реалізація на державному рівні	10				Рух до реальної участі споживачів в енергоринку						
	9				Інтеграція у великих масштабах е-мобілів, опалення, охолодження та зберігання						
Розгортання в державах-членах	8				Агрегація розосереджених джерел енергії						
	7				Рух до інтеграції місцевого і центрального балансування для всіх типів генерації						
	6		Моніторинг та керування мережами і розосередженою генерацією								
	5		Розгортання інтелектуальних вимірювань – поінформовані клієнти								
Сприяння національним та загальноєвропейським рівням	4	Тестування за допомогою демонстраційних проєктів та обмін знаннями									
	3	Встановлення стандартів та забезпечення захисту даних і конфіденційності									
	2	Розробка моделей ринку									
	1	Забезпечення нормативних стимулів для інноваційних інвестицій в мережі									

*Джерело: [18]*

Результати досліджень, показують, що перетворення сьогоднішньої енергетичної системи в енергетичну систему на базі концепції Smart Grid призводить до численних ефектів. Оцінки економічних і екологічних ефектів від формування енергосистеми на базі концепції Smart Grid економіки США в майбутньому, що виконані американськими дослідниками, представлені у табл. 2.13.

**Ефект від впровадження енергосистеми на базі концепції Smart Grid**

Параметри	Базис	Енергетична система без Smart Grid (1)	Енергетична система на базі Smart Grid (2)	Відношення Показників (2) до показника (1), %
	2000 р.	2015 р.		
Споживання електроенергії, млрд. кВт-год.	3,800	5,800	4,900 – 5,200	10 – 15, зниження
Енергоемність ВВП, кВт-год./дол. США ВВП	0,41	0,28	0,20	29, зниження
Зниження попиту в пікове навантаження, %	6	15	25	66, зростання
Викид CO <sub>2</sub> , млн. т. вуглецю	590	900	720	20, зниження
Рівень зростання продуктивності, %/рік	2,9	2,5	3,2	28, зростання
Реальний ВВП, млрд. дол. США	9,200	20,700	24,300	17, зростання
Розмір економічного збитку бізнесу, млрд. дол. США	100	200	20	90, зниження

*Джерело: [11]*

В цілому ефект и вигоди для бізнесу, отримані завдяки впровадженню концепції Smart Grid, можуть приймати різні форми:

- безпечніший процес виробництва продукції за рахунок підвищення надійності електропостачання;
- підвищення ступенів задоволеності споживачів;
- збільшення обсягів продажів внаслідок підвищення рівня обслуговування споживачів;
- зниження виробничих витрат внаслідок скорочення простоїв через збої роботи енергетичної системи;
- зниження рівня використання невідновлюваних джерел енергії;
- створення нових робочих місць и потенційне зростання ВВП;
- можливість модернізувати енергетична систему на основі інтеграції енергетичних активів в сфері генерації, передачі и розподілу и акумулювання електроенергії;
- сприяння підвищенню енергоефективності за допомогою інформування споживачів в результаті здійснення роз'яснювальних інформаційних програм і тарифного меню;
- інтеграції електромобілів, розподілених джерел енергії, які працюють за рахунок енергії вітру і сонця та інших форм розподіленої генерації;
- зниження кількості виїздів працівників на аварії та проведення оперативної діагностики, числа перебоїв і високої плати за електроенергію за мережі автоматичного відключення і повторного включення;
- підвищення стійкості мережі до збоїв в роботі окремих компонентів внаслідок зовнішнього природного впливу, віку і умов експлуатації активів або внаслідок умисного нанесення шкоди.

Енергетичні мережі з розподіленою генерацією є самим найближчим майбутнім енергопостачання. Тільки при наявності інтелектуальних енергетичних мереж з розподіленою генерацією енергії можливо в повній мірі використовувати весь потенціал відновлювальної енергетики. Зі збільшенням частки виробництва електроенергії з відновлювальних джерел актуальність використання Smart Grid буде зростати.

Отже, прогнози розвитку світової та європейської енергетики показують, що в короткостроковій і довгостроковій перспективах частка ВДЕ у виробництві первинної енергії в світі буде неухильно зростати.

У даний час найбільш рентабельними напрямками розвитку сфери ВДЕ є використання енергії води (у першу чергу малих ГЕС), біомаси та енергії вітру. Геліоенергетика вимагає значних інвестицій для подальшого розвитку, тому світлова енергія сонця (сонячні батареї) залишається поки одним з найдорожчих серед ВДЕ. Розвиток сфери ВДЕ може прискорити перехід на новий технологічний уклад як країн OECD, так і ряду інших економік світу.

Smart Grid стає потужним прискорювачем зростання світової економіки, драйвером технологічних перетворень, який дозволить перетворити енергетичні системи в інтелектуальні.



## 2.6. Використання відновлюваних джерел енергії в Україні

© Шуба М. В.

*к. е. н., доцент кафедри міжнародних економічних відносин,  
Харківський національний університет ім. В. Н. Каразіна, м. Харків, Україна*

© Шуба О. А.

*к. г. н., доцент, доцент кафедри міжнародної економіки та світового господарства,  
Харківський національний університет ім. В. Н. Каразіна, м. Харків, Україна*

У сучасному світі питання досягнення збалансованості між розвитком суспільного виробництва та станом навколишнього середовища є надзвичайно актуальним. Існує багато складнощів на шляху гармонізації економічного і екологічного розвитку. За своєю орієнтацією економіка й екологія є необхідними, однак протилежними компонентами соціоприродних систем: історично склалося, що прогресу в економіці можливо було досягнути лише за рахунок екологічного регресу. Тому постає проблема комплексного вивчення їх взаємин з метою оптимізації спільного розвитку.

З огляду на зворотну залежність між розвитком економіки та екології, необхідно звернутися до більш активного впровадження відновлюваних джерел енергії. До того ж, проекти з відновлюваної енергетики в країнах, що розвиваються, повинні забезпечувати чисте енергопостачання, а також підтримувати сталий економічний розвиток. Привабливість та актуальність застосування відновлюваних джерел енергії зумовлюється, крім їх великих запасів в нашій країні, ще і цілим рядом інших причин: очікуване вичерпання запасів органічних видів палива, різке зростання їх ціни, недосконалість та низька ефективність технологій їхнього використання, шкідливий вплив на довкілля. Особливо гостро ця проблема стоїть в Україні, причинами цього є застарілі технології, значні втрати при транспортуванні, розподілі та використанні електроенергії [4, с. 160].

Також використання відновлюваних джерел енергії допомагають знизити шкідливий вплив розвитку економіки на екологію. Наприклад, викиди від великих спалювальних установок забруднюють довкілля та завдають шкоди здоров'ю людей, чого можна уникнути при використанні енергії води, сонця, вітру та біопалива.

Україні необхідно розвивати нову систему енергопостачання, переваги якої нададуть не лише можливість дотримання екологічних зобов'язань перед майбутніми поколіннями, отримання енергетичної незалежності, але й допоможуть справитися з енергетичною бідністю та сприяти покращенню рівня життя населення та зростанню економіки.

Український енергетичний сектор перебуває в процесі глибокого реформування, за результатами якого буде сформовано профіль вітчизняної енергетики на наступні десятиліття. Зміна глобального навколишнього середовища, зміна технологій та впровадження інновацій та пошук нових нетрадиційних джерел енергії, а також все ширше використання відновлюваних джерел енергії, вимагають адекватної відповіді від вітчизняних та міжнародних енергетичних компаній, а також держав та міжнародних організацій, на питання: “Яким буде енергетичне суспільство майбутнього?” [5].

В оновленій Енергетичній стратегії України на період до 2035 р.: “Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність” (ЕСУ) передбачається стале розширення використання всіх видів відновлюваної енергетики, яка стане одним з інструментів гарантування енергетичної безпеки держави. У коротко- та середньостроковій перспективі (до 2025 р.) ЕСУ прогнозує зростання частки відновлюваної енергетики до рівня 12 % від загального первинного постачання енергії та не менше 25 % – до 2035 р. (рис. 2.9) [1].

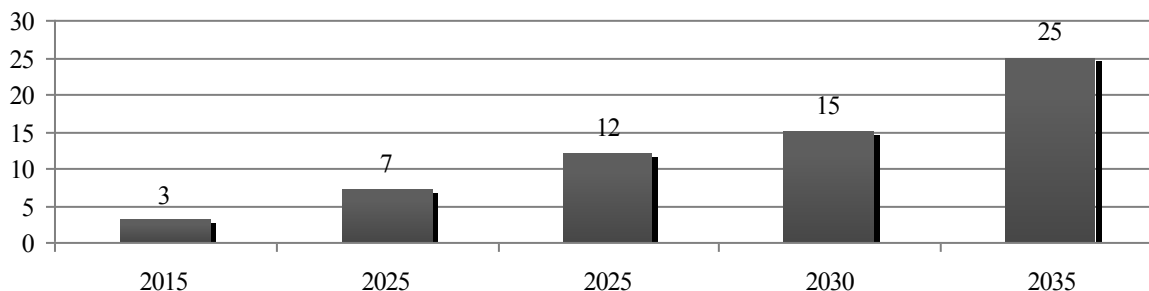


Рис. 2.9. Прогноз зміни частки відновлюваних джерел енергії у структурі загального первинного постачання енергії, 2015 – 2035 рр., %

Джерело: узагальнено авторами за даними [1; 2]

Для імплементації завдань ЕСУ-2035 саме відновлювана енергетика має велике значення. Це стосується і імпортозалежності від поставок палива, і декарбонізації енергетики, а також зниження та оновлення основних фондів галузі.

Показники енергоспоживання на основі відновлюваних джерел в Україні незначні (табл. 2.14).

Таблиця 2.14

**Енергоспоживання на основі відновлюваних джерел, 2007 – 2016 рр., тис. т н.е.**

Відновлювані джерела енергії	2007 р.	2008 р.	2009 р.	2010 р.	2011 р.	2012 р.	2013 р.	2014 р.	2015 р.	2016 р.
Загальне постачання первинної енергії, тис. т н.е.	139330	134562	114420	132308	126438	122488	115940	105683	90090	91658
із нього										
Гідроенергетика тис. т н.е.	872	990	1026	1131	941	901	1187	729	464	660
у % до підсумку	0,6	0,7	0,9	0,9	0,7	0,7	1,0	0,7	0,5	0,7
Енергія біопалива та відходи, тис. т н.е.	1508	1610	1433	1476	1563	1522	1875	1934	2102	2832
у % до підсумку	1,1	1,2	1,3	1,1	1,2	1,2	1,6	1,8	2,3	3,1
Вітрова та сонячна енергія, тис. т н.е.	4	4	4	4	10	53	104	134	134	124
у % до підсумку	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1
Всього енергія від відновлюваних джерел										
Загальне постачання енергії від відновлюваних джерел, тис. т н.е.	2384	2604	2463	2611	2514	2476	3166	2797	2700	3616
Частка постачання енергії від відновлюваних джерел, %	1,7	1,9	2,2	2,0	2,0	2,0	2,7	2,6	3,0	3,9

Джерело: [2]

Хоча Україна має великий потенціал відновлюваних джерел енергії, що за оцінками становить 68 млн. т н.е., наразі, використовує тільки на 4 %. Сьогодні лідером з розвитку відновлюваних джерел енергії у світі є Європейський союз, країни якого разом споживають майже третину усієї енергії, що генерується у світі за допомогою відновлюваних джерел енергії. Лідером серед них є Німеччина, яка у 2016 р. спожила 37,9 млн. т н.е. енергії, виробленої з відновлюваних джерел енергії. Для України цей показник становив тільки 0,3 млн. т н.е. [5].

Тенденції енергоспоживання на основі відновлюваних джерел та зростання обсягів їх постачання свідчать про поступове забезпечення реалізації державної політики у сферах ефективного використання паливно-енергетичних ресурсів, відновлюваних джерел енергії та альтернативних видів палива, енергозбереження, хоча і дуже повільними темпами.

У структурі відновлюваних джерел енергії біопалива та відходи становлять найбільшу частку – 79 % у 2016 р. Друге місце займає гідроенергія – її частка становила 17 %. Вітрова та сонячна енергія поки що становлять найменшу частку – 4 % (рис. 2.10).

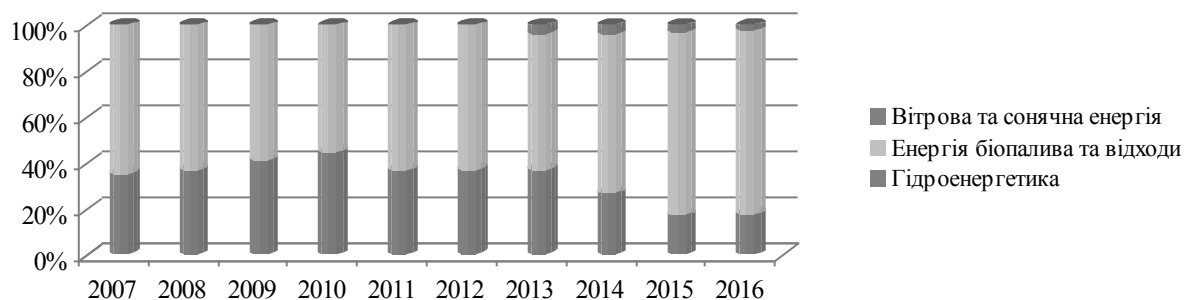


Рис. 2.10. Структура відновлюваних джерел енергії в Україні, 2007 – 2016 рр., %

Джерело: узагальнено авторами за даними [2]

Потенціал відновлюваних джерел енергії в Україні залишається значним, попри складну політичну і соціально-економічну ситуацію, що склалася внаслідок анексії Криму, військових дій на Донбасі, які також призвели до незаконного відчуження важливих об'єктів енергетичної інфраструктури. Так, Крим – це найбільш південна частина України, отже через анексію було втрачено значне джерело енергії сонця. Зараз найбільш перспективною для побудови сонячних електростанцій в Україні є Херсонщина, на якій вони вже функціонують. Наприклад, Трифановська сонячна електростанція, яка щорічно буде генерувати 11 – 12 млн. кВт-год. “зеленої” електроенергії, що досить для енергозабезпечення 15 навколишніх сіл. Також у Криму працювало 11 геотермальних систем. Великі запаси термальних вод знаходяться у Чернігівській, Полтавській, Харківській, Луганській та Сумській областях, однак цей потенціал ще не використовується.

Серед бар'єрів для ефективного використання ресурсів варто зазначити:

- низьку поінформованість населення та бізнесу про необхідність, переваги та потенціал впровадження енергозбереження та використання відновлюваних джерел енергії;
- сильне лобі у владі традиційної енергетики;
- недосконалість системи нормативно-правових актів, які повинні забезпечити регулювання та стимулювання в зазначеній сфері, їх розрізненість;
- постійні зміни у політиці стосовно відновлюваної енергетики, що стримує інтерес потенційних інвесторів;
- відсутність мотивації у суб'єктів господарювання до впровадження новітніх, у т.ч. ресурсоефективних технологій та екологічних інновацій;
- використання застарілих технологій та обладнання, що спричиняє високий рівень втрат ресурсів на ланцюгу від виробництва до кінцевого споживання та їх неефективне використання;
- слабкий доступ підприємств до екологічних кредитів та інвестицій [7; 9].

Тарифна політика в Україні для відновлюваних джерел енергії на сьогодні має серйозні дефекти, оскільки не відображає світову тенденцію стрімкого падіння цін на електроенергію вироблену з їх використанням. Так, частка відновлюваних джерел енергії у структурі надходжень на об'єднаний ринок електричної енергії, що є похідною від структури оптової ринкової ціни (електричної енергії), у понад 3,5 рази перевищує частку електроенергії, що виробляється за “зеленим тарифом”. Одним із дієвих механізмів створення більш конкурентної тарифної моделі для відновлюваних джерел енергії могло б стати запровадження тарифних аукціонів для інвесторів [5].

Незважаючи на перешкоди та бар'єри, Україна досягла значного прогресу в галузі відновлюваної енергетики протягом останніх декількох років. Однак, на думку дослідників, попри всі переваги відновлюваних джерел енергії, у кожного виду є певні проблеми. Зокрема, сонячні електростанції здатні генерувати електроенергію тільки вдень та залежать від кліматичних характеристик місцевості, недоліком вітроенергетичних установок є несталість та нерегульованість вітрового потоку, гідроелектростанції потребують затоплення значних територій і негативно впливають на загальний стан екосистеми.

У зв'язку з світовою тенденцією збільшення потужності фотоелектричних станцій виникає необхідність удосконалення заходів щодо збільшення споживання електроенергії в денний період доби, зокрема впровадження пільг для станцій зарядки електромобілів, використання постійного струму для систем теплопостачання, акумуляторних станцій газотранспортних систем і нафтоперекачувальних станцій, систем електропостачання електробурів. Крім того доцільно відповідним органам здійснювати корегування потужностей відновлюваних джерел енергії з метою збільшення їх частки у регулюванні максимальних навантажень електроенергетичних систем [4, с. 163].

Не дивлячись на існуючі труднощі, досвід реалізації в країнах Європейського Союзу дорожньої карти руху до ресурсоефективної, конкурентної “зеленої” економіки свідчить про реальні можливості переходу до економії ресурсів, підвищення конкурентоздатності бізнесу, залучення додаткових джерел економічного зростання та створення робочих місць. Підписання Угоди про Асоціацію між Україною та Євросоюзом у 2014 р. та взяття Україною зобов'язань щодо поступового впровадження енергетичних та екологічних стандартів ЄС поряд з підвищенням цін на енергоресурси та комунальні послуги сприяє розширенню використання відновлюваних джерел енергії в Україні [3, с. 16 – 17].

Проекти відновлюваної енергетики можна назвати драйверами розвитку української економіки. Наразі вони не носять глобального характеру та реалізуються у глибинці, де немає ні постійної роботи, ні перспектив розвитку (наприклад, вітрова електростанція, що розташована поблизу міста Старий Самбір у Львівській області). Їх реалізація дає змогу завантажити і місцевих будівельників, і постачальників різних матеріалів, і технічний персонал. До того ж, місцеві ради отримують регулярно істотну надбавку до бюджету у вигляді орендних платежів за землю.

Будівництво заводів із виробництва обладнання для відновлюваних джерел енергії могло би принести нашій державі значні інвестиції, адже впродовж останніх трьох років Україна залучила в розвиток альтернативної енергетики понад 700 млн. євро [6].

На основі проведеного дослідження було узагальнено та систематизовано основні напрями для прискорення використання відновлюваних джерел енергії в Україні та подолання існуючих бар'єрів:

- проведення стабільної та прогнозованої політики щодо відновлюваної енергетики;
- проведення міжнародних кампаній для заохочення входу на ринок відновлюваних джерел енергії України міжнародних фінансових та стратегічних інвесторів;
- збільшення вітчизняних і зарубіжних інвестицій у нові потужності шляхом спрощення процедури отримання “зелених тарифів”, розвитку стимулів для невеликих інвесторів та створення фінансування через доступні кредитні продукти, такі як кредитна гарантія, що використовуються у світовій практиці;
- поширення інформації про ресурсний потенціал, вартість та переваги відновлюваних джерел енергії серед населення та бізнесу;
- використання місцевих виробничих потужностей для створення ринку обладнання для виробництва відновлюваної енергії;
- збільшення використання біомаси у генерації електро- та теплоенергії шляхом:
- стимулювання використання біомаси як палива на підприємствах, де біомаса є залишковим продуктом;
- розробка системи збору сільськогосподарських відходів;
- інформування про можливості використання біомаси як палива в індивідуальному теплопостачанні;
- інвестувати в інфраструктуру для сталого відновлення лісової біомаси;
- сприяння створенню конкурентних ринків біомаси.
- прискорення розвитку малого гідроенергетичного потенціалу та запровадження додаткових великих гідроакumuлюючих проєктів;
- впровадження технологій і практики залучення споживачів у енергетичному переході до інтелектуальних мереж та суцільного обліку енергії (Smart Grids, Smart Metering), “розумних міст”, “розумних побутових приладів”, “домашніх” систем автоматизації;
- впровадження ефективних енергетичних систем та освоєння технологій для переведення загального фонду будівель з вищою енергоефективністю, маючи на меті у подальшому їх приведення до енергетично нейтрального (пасивного) стану;
- впровадження більш сталих та енергоефективних транспортних систем, у яких послідовно впроваджуються інноваційні технології і послуги для підвищення енергоефективності та скорочення викидів парникових газів, у т.ч. широке запровадження муніципального та індивідуального пасажирського та вантажного електротранспорту [5; 8; 9].

Отже, для України єдиним довгостроковим економічно та екологічно обґрунтованим рішенням для подальшого розвитку є інтенсифікація використання відновлюваних джерел енергії. Україна має можливості для використання всіх відновлюваних джерел енергії: сонячної, вітрової, водної, біомаси та геотермальної. У час, коли країна стикається із значними економічними проблемами, серед яких і збільшення залежності від імпорту енергії, і нагальна необхідність оновлення застарілого енергетичного обладнання та технологій, необхідно почати активніше використовувати відновлювану енергетику, оскільки це сприятиме зменшенню залежності від імпортованого природного газу та диверсифікації енергопостачання, екологізації енергетики, створенню робочих місць (особливо в сільській економіці), надходженню іноземних інвестицій та стимулюванню економічної діяльності.

## **2.7. Аналіз потенціалу відновлюваних джерел енергії на територіях непридатних для сільськогосподарського виробництва**

© Кузнєцов М. П.

*д.т.н., с.н.с., Інститут відновлюваної енергетики НАН України, м Київ, Україна*

© Лисенко О. В.

*к.т.н., доцент, Таврійський державний агротехнологічний університет, м Мелітополь, Україна*

Використання непридатних для сільського господарства територій з метою отримання енергії з відновлюваних джерел має ряд аспектів економічного, соціального, екологічного спрямування. В Україні до таких територій можна віднести багато землі, починаючи від занедбаних кар'єрів і солончаків до пустелі “Олешківські піски” і Чорнобильської зони.

Використання комбінованих систем генерування на базі відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) є напрямом, який активно розвивається. Однак застосування ВДЕ нерідко породжує питання про вплив на надійність роботи енергосистеми. Так, стабільність електропостачання від сонячних (СЕС) і вітрових (ВЕС) електростанцій залежить від погодних факторів і є слабо передбачуваною [23; 19].

У випадку з непридатними для сільського господарства районами можлива установка значних обсягів ВЕС і СЕС (а в Чорнобильській зоні це, за різними оцінками, кілька сотень або навіть тисяч мегават). Їх локалізація по відношенню до загальної електромережі в вигляді деякого кластера вимагає спеціального дослідження, яке враховувало б вірогідну природу енергії, що генерується цими станціями.

Змінний і слабо прогнозований характер видачі потужності, властивий вітровій та сонячній енергетиці, може привести до негативного впливу на режими роботи енергосистеми. Значне впровадження ВДЕ, якщо воно не супроводжується технологіями акумулювання енергії, вимагає додаткового регулювання потужності енергосистеми, щоб збалансувати поточні коливання не тільки споживання, але і енергії, що генерується [15]. Крім того, збільшення частки ВЕС і СЕС в енергосистемі буде витіснити традиційні електростанції, що ускладнить можливість регулювання частоти і напруги в разі втрати генерації або навантаження [20]. Баланс споживання електроенергії і регулювання частоти – основні технічні проблеми в енергосистемах зі значним рівнем впровадження ВДЕ [8].

Так, наближена оцінка “міцності” мережі може визначатися відношенням потужності короткого замикання на системних шинах до потужності ВДЕ. Однак при такому підході не враховуються динамічні властивості власне джерела енергії, а саме характеру поведінки його потужності, розглядається тільки загальна потужність. Це ж стосується стійкості енергосистеми [12; 18; 21]. Так, відповідно до СОУ-Н [24] вплив перепадів потужності на стійкість визначається таким показником, як коефіцієнт запасу стійкості активної потужності в контрольованому перерізі електромережі:

$$K_p = \frac{(P_{гр} - P - \Delta P)}{P_{гр}}, \quad (2.2)$$

де  $P_{гр}$  – гранично допустима активна потужність перетікання;

$P$  – поточне перетікання потужності в перетині;

$\Delta P$  – амплітуда нерегулярних коливань активної потужності.

Під впливом флуктуацій потужності перетікання змінюється в межах  $P \pm \Delta P$ , і саме розмах нерегулярних змін є визначальним при розрахунку запасу стійкості. Якщо всю потужність ВДЕ вважати неконтрольованою, це накладає досить жорсткі обмеження на її обсяг. Однак робота ВЕС і СЕС характеризується наявністю певної середньої потужності і стохастичною складовою, що розглядаються як функції часу [5; 7; 9]. Середня потужність може вважатися добре прогнозованою на короткострокову перспективу, і вважатися контрольованим параметром [17; 21]. Тоді обмеження повинні бути накладені тільки на стохастичну складову, яка і визначає величину аварійно допустимого перетоку в перерізі.

Зміна частоти струму в мережі також залежить від того, наскільки значним було порушення балансу потужності [8]. Саме зростання активного навантаження споживачів або зниження активної потужності генераторів в першу чергу викликають падіння частоти в системі.

Отже, встановлення дійсного характеру мінливості поточної потужності об’єктів відновлюваної енергетики необхідно для розрахунку допустимих безпечних рівнів впровадження ВДЕ або додаткових потреб в регулюючих потужностях. Для цього потрібно мати адекватну модель спільної роботи генеруючої групи і споживача з урахуванням можливої природи кожного з об’єктів.

Оскільки взяті окремо такі джерела відновлюваної енергії, як сонце чи вітер, мають високий рівень непередбачуваної мінливості, доцільно комбінувати їх з більш регульованими джерелами енергії [16]. Проблемним питанням при створенні такої системи є оптимізація її складу і режимів роботи [22].

Оптимізація здійснюється головним чином за економічними показниками, проте при наявності ВДЕ в якості додаткових умов виступає забезпечення певного рівня надійності подачі енергії. Оскільки умова балансу потужності може виконуватися не в кожен момент часу, показники (індекси) надійності повинні визначатися як ймовірні величини [1].

Ці показники можуть бути отримані двома основними методами, а саме: аналітичним і імітаційним.

Аналітичне визначення функцій розподілу випадкових величин дозволяє безпосередньо розрахувати шукані індекси, однак вибір таких функцій вимагає попереднього вивчення достатнього набору статистичних даних і прийняття деяких гіпотез про характер розподілу. Такий підхід дає змогу узагальнити наявні дані, спростити розрахунки для великої кількості можливих комбінацій об’єктів [5; 22].

Обсяг виробленої або спожитої електроенергії може бути розрахований в залежності від способу опису потужності. При відомій аналітичній або статистичній залежності від часу формула для визначення енергії буде мати вигляд:  $E(T) = \int_0^T P(t)dt$  або  $E(T) = \sum_i^N \Delta t \cdot P_i$ , де  $T = \Delta t \cdot N$  – загальний час генерації.

Якщо відома функція  $f(x)$  щільності розподілу змінної  $x$ , яка визначає наявність енергоносія (швидкість вітру або сонячну радіацію), то:

$$E(T) = \int_0^{\infty} P(x)f(x)dx, \quad (2.3)$$

де  $P(x)$  – відомі характеристики потужності генераторів.

Отже, можна визначити всю генеровану за час  $T$  енергію, або все споживання. Однак визначення індексів надійності енергозабезпечення вимагає синхронного зіставлення генерації і споживання, для визначення поточних надлишків або недостатності енергії.

Якщо незалежною змінною вважати поточне значення потужності, то при відомій функції розподілу власної потужності  $f_p(x)$  енергія буде визначатися формулою:

$$E(T) = T \int_0^{\infty} p f_p(p) dp, \quad (2.4)$$

де інтеграл визначає математичне сподівання потужності на інтервалі часу  $T$ .

Якщо споживання відбувається в певних межах, наприклад  $P_1 < P_{\text{спож}}(t) < P_2$  [6], то використання генерованої енергії можна описати [14]:

$$E_0 = T \int_{P_1}^{P_2} p \cdot f_p(p) dp, \quad E_1 = T \int_{P_2}^{\infty} p \cdot f_p(p) dp, \quad E_2 = T \int_0^{P_1} (P_1 - p) \cdot f_p(p) dp, \quad (2.5)$$

де  $E_0$  – енергія, безпосередньо використовувана споживачем;

$E_1$  – надлишок енергії;

$E_2$  – дефіцит енергії, який повинен бути компенсований з інших джерел.

Зазначені величини залежать тільки від функції розподілу, і дозволяють сформулювати певні вимоги до потрібних обсягів акумулювання енергії з метою балансування потужності.

Якщо споживана потужність визначена як функція часу, доцільно розглядати величину небалансу, як різницю генерованої і споживаної потужностей:

$$P_{\Delta}(t) = P_{\text{ген}}(t) - P_{\text{спож}}(t). \quad (2.6)$$

У разі використання ВДЕ генерована потужність повинна враховувати також ефективність перетворювача енергії. Знаючи розподіл небалансу потужності  $P_{\Delta}(t_i)$  як випадкової величини (або його імовірнісні характеристики як випадкового процесу), можна визначити шукані показники: потрібну ємність накопичення енергії, можливу втрату навантаження або виробленої енергії.

Імітаційної підхід до моделювання енергосистеми дозволяє отримати більш інформативний набір показників надійності енергосистеми. Найчастіше імітаційний підхід базується на методах Монте-Карло. Моделювання здійснюється шляхом імітації реальної поведінки енергосистеми як випадкового процесу [1; 10]. Такий підхід дозволяє отримати майже повне уявлення про можливі стани енергосистеми як випадкові події, при різних поєднаннях обставин і чинників.

Для оцінки роботи ВДЕ можна застосувати методи рекурсивного аналізу, використовуючи історичні дані про швидкість вітру, сонячної радіації і режими споживання. Імітаційне моделювання оперує не тільки з окремим випадком, за яким є вихідні дані, але і допускає будь-які комбінації даних, що не суперечать моделі.

Математична модель потужності ВЕС і СЕС розглянута зокрема в роботах [10; 16]. Для моделювання використано уявлення миттєвої потужності у вигляді суми середніх для заданого сезону значень (трендової кривої), середньодобового значення як випадкової величини і поточних короткострокових змін як випадкового процесу. Отже, миттєву потужність  $p = P(t)$  в формулах (2.4 – 2.6) можна представити у вигляді:

$$P(t) = \omega(t) + \sigma \cdot \varepsilon + U(t), \quad (2.7)$$

де  $\omega(t)$  – трендова крива, що імітує зміну протягом доби;

$\sigma$  – стандартне відхилення середньодобових значень;

$\varepsilon$  – стандартна нормально розподілена випадкова величина;

$U(t)$  – відхилення від середнього в момент часу  $t$ , як випадковий процес.

Апроксимовані середнє  $\omega(t)$  і випадковий процес  $U(t)$  для об'єктів ВДЕ можна визначити методами, викладеними в роботі [10] (для ВЕС) або [16] (для СЕС). Для моделювання роботи ВЕС застосовні представлення короткострокових змін  $U(t)$  як випадкового процесу Орнштейна-Уленбека. При моделюванні рівня сонячної радіації використовуються нормально розподілена і рівномірно розподілена випадкові величини. Моделювання в обох випадках здійснюється за такими показниками, як середні значення (математичні очікування), дисперсії, допустимі зміни в одиницю часу, характер розподілу ймовірності певних значень. При цьому враховуються дані з різним часом усереднення – помісячні, середньодобові, поточні (фіксовані з інтервалом в декілька хвилин). Найбільш прийнятним для вітру вважається розподіл Вейбула. Для сонячної енергії чітко виділяються денний і нічний час, функція розподілу інтенсивності іноді видається бета-розподілом, але найчастіше апроксимується емпіричними формулами. Відзначимо, що енергія сонця має чітку залежність від географічного положення, а швидкість вітру залежить також від ландшафту.

Вираз (2.7) можна відносити як до окремих об'єктів, таких як ВЕС, СЕС або споживач, так і до їх суми, тобто балансу потужності (2.6). При цьому важливим є наявність достатнього обсягу статистичних даних, які представлені як синхронізовані тимчасові ряди. Синхронізація важлива для перевірки наявності кореляції між потоками енергії. Так, потреба в регулюванні виникає при наявності небалансу потужностей, який характеризується величиною і тривалістю відхилень від рівноважного стану. Припустимо, в деякій енергосистемі з традиційною генерацією дисперсія небалансу потужностей дорівнює  $D$  (МВт<sup>2</sup>), тоді середньоквадратичне значення відхилень  $\sigma = \sqrt{D}$  (МВт). Зазвичай вважають, що рівноважний стан відповідає нульовому математичному сподіванню, а розподіл ймовірності відхилень нормальний. При цьому дисперсія різниці двох випадкових величин (в даному випадку генерації і споживання) визначається формулою:

$$D = \sigma^2 = \sigma_{\text{ген}}^2 + \sigma_{\text{спож}}^2 - 2\rho \cdot \sigma_{\text{ген}} \sigma_{\text{спож}}, \quad (2.8)$$

де  $\rho$  – коефіцієнт кореляції генерації і споживання як випадкових величин.

Очевидно, при позитивній кореляції (тобто одночасному зростанні і убуванні генерації і споживання) дисперсія зменшується, тобто небаланс близький до нуля.

При визначенні сумарної генерації енергії дисперсія також залежить від кореляції складових аналогічно (2.8), тільки при додаванні випадкових величин вона зменшується в разі негативної кореляції (коливаннях потужності в протифазі).

Якщо в систему генерації додані об'єкти ВДЕ, що вносять додаткову невизначеність, то збільшення потреби в балансуєчих потужностях пропорційне зростанню результуючого середньоквадратичного відхилення небалансу.

Принципово важливим в такому математичному моделюванні є можливість в потужності ВДЕ виділити прогнозовану і неконтрольовану складові (2.2), від співвідношення яких залежить стійкість енергосистеми. Наявність налагодженої системи прогнозування і своєчасна диспетчеризація дозволяють запобігти надмірній потребі в резервних потужностях і заздалегідь (на стадії проектування) забезпечити параметри надійної роботи енергосистеми.

Для розрахунку сумарної генерації електроенергії ВЕС і СЕС, значення їх миттєвих потужностей моделюються як незалежні (на рис. 2.11 – 2.12 зображені випадкові складові з 15-хвилинним кроком осереднений).

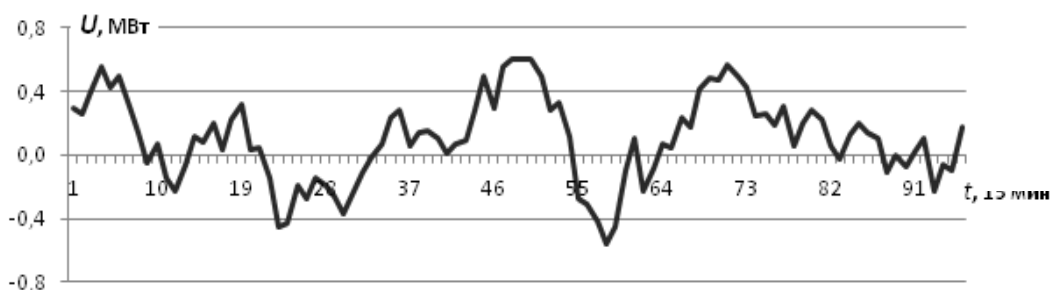


Рис. 2.11. Приклад випадкових відхилень потужності ВЕС від трендової кривої, хв.  
Джерело: авторська розробка

Потім, застосовуючи методи Монте-Карло, можна визначити ймовірні рівні сумарної потужності, ймовірність екстремальних значень і інші шукані показники.

Потужність СЕС, на відміну від ВЕС, має обмеження по максимуму, що залежать від географічної широти (рис. 2.12).

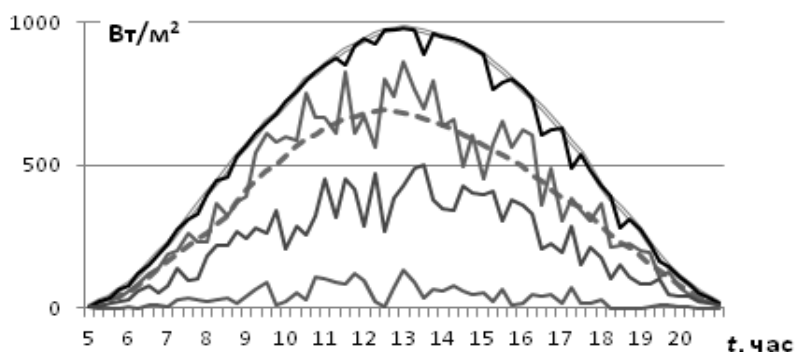


Рис. 2.12. Приклади коливань рівня сонячної радіації, червень (інтервал 15 хв.)  
Джерело: авторська розробка

Як показують результати моделювання, при типовому добовому характері споживання і припущенні, що середня потужність ВДЕ приблизно відповідає потребам споживача, неконтрольована величина небалансу потужності практично не перевищує половини сумарної потужності ВЕС і СЕС, при цьому відносна частота (ймовірність) появи значних небалансів мала (рис. 2.13).

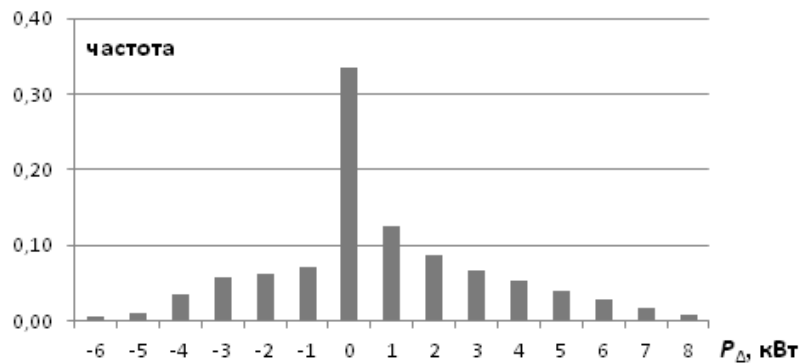


Рис. 2.13. Гістограма небалансу потужності комбінованої електростанції

*Джерело: авторська розробка*

Як бачимо, переважна більшість випадків небалансу (до 80 %) зосереджена в інтервалі  $(-1,1)$  МВт, або в межах 6 % номінальної потужності. Можна вважати неконтрольовану складову потужності обмеженою із заданою вірогідністю. Так, з імовірністю 0,95 небаланс не перевищує 33 % сумарної номінальної потужності ВДЕ.

Залежно від результатів, отриманих для кліматичних умов даного регіону, і вимог до надійності роботи енергосистеми, можна сформулювати потреби в системах акумулювання енергії, або балансу маневрових потужностей, або обмеження на ВДЕ.

Наявність традиційних теплових станцій і акумуляторів енергії, в силу їх керованості, дозволяє в значній мірі збалансувати роботу енергокластера. При цьому критерієм оптимізації енергосистеми може бути зниження сумарних витрат на електричну енергію, або забезпечення нормативної надійності, або мінімізація шкідливих викидів, характерних для теплової енергетики. Можливе застосування багатокритеріальної оптимізації.

Непридатні для сільського господарства території припускають розміщення значних потужностей вітрових і сонячних електростанцій. Ці потужності будуть виглядати локалізованими щодо загальної електромережі. Концентроване застосування ВДЕ породжує питання про їх вплив на надійність роботи енергосистеми. Визначальним фактором є наявність нерегулярних змін потужності. Математичне моделювання роботи енергосистеми, зокрема імітаційне, дозволяє врахувати ймовірність несприятливих факторів, використовуючи статистичні дані про клімат досліджуваного регіону і особливості споживання енергії. Це дає можливість запобігти надмірній установці резервних потужностей при забезпеченні досить надійної роботи енергосистеми [11].

Спроможність здійснювати вчасне прогнозування і планування дозволяють оптимізувати структуру комбінованої енергосистеми, досягти економічно задовільних результатів при одночасному виконанні екологічних вимог та забезпеченні надійної роботи мережі.

## 2.8. Використання біомаси в енергетичних цілях (досвід Польщі)

© Ольга Калініченко

*здобувач вищої освіти, Университет Опольський, м. Ополье, Польща*

© Себастьян Бялобжецки

*здобувач вищої освіти, Университет Опольський, м. Ополье, Польща*

© Ольга Жук

*д.б.н., професор, Университет Опольський, м. Ополье, Польща*

Понад 80 % енергії з відновлюваних джерел у Польщі походить з біомаси [1]. Значна кількість біомаси утворюється при виробництві і переробці продукції рослинництва (солома від зернових, лузга, качани кукурудзи та ін.). До біомаси відносять також рослинний матеріал, який спеціально вирощується в енергетичних цілях, наприклад, плантації тополі, верби, міскантусу, мальви та інших енергетичних рослин.



Біомасу можна поділити на дві основні групи:

– первинна енергетична сировина, тобто деревина, відходи тваринництва та рослинництва і стічні осади (аналог торфу);

– перетворена енергетична сировина, така як біогаз, етанол, метанол, ефіри ріпакової олії, макулатура.

Одним з найбільших джерел енергії з біомаси є біогаз, що виробляється як з відходів тваринного походження, так й з інших видів відходів сільськогосподарської продукції. Біогаз видобувається також з відстоїв органічних стоків, органічних відходів зі сміттєзвалищ.

Біомасою є також так званий піролізний (деревний) газ, що виникає при окисленні деревини. Цей газ може використовуватись для двигунів внутрішнього згоряння або для спалювання у газових котлах.

Ще однією з форм біомаси є рідка форма. Найчастіше використовуються ефіри жирних кислот ріпакової олії (так званий біодизель), метанол або етанол, які ще називають біоетанолом і використовують, між іншим, у якості складової бензину.

У процесі переробки органічних відходів в біогазових установках отримують два основні продукти – біогаз і зброжену біомасу, яку можна використовувати в якості органічного добрива при виробництві рослинницької продукції та добавок до кормів.

Слід відмітити, що виробництво біогазу з твердих побутових відходів та відходів сільського господарства проходить у процесі їх утилізації. Це відіграє важливу екологічну роль, зменшуючи техногенне навантаження на навколишнє середовище. Супутнім продуктом виробництва біогазу з відходів сільського господарства є органічні добрива.

У стратегії розвитку відновлювальних джерел (ВДЕ) в Польщі до 2025 р. значно більший акцент, ніж раніше, робиться на використання біогазу. У Польщі розроблено систему норм щодо будівництва й експлуатації біогазових установок. Система “зелених сертифікатів” і Закон про Енергетичне Право підтримують подальший розвиток відновлюваних джерел енергії (в т.ч. біогазу) в Польщі [2].

Активно розвиваються програми і створюються фонди ЄС, що підтримують інвестиції в області біогазових установок (в т.ч. в програмах ЄС, що стосуються виробництва електроенергії і тепла в когенераційних системах) [3].

Біогаз вироблений на сільськогосподарських біогазових установках використовується в основному для перетворення у теплову і електричну енергію.

Сьогодні в аграрному секторі Польщі використовуються такі технології використання біогазу:

– виробництво електроенергії за допомогою генераторів з приводом від двигуна внутрішнього згоряння або газотурбінних генераторів;

– виробництво теплової енергії в пристосованих газових котлах;

– виробництво теплової й електричної енергії в когенераційних установках;

– постачання газу до газової мережі;

– використання газу як палива для тракторних та автомобільних двигунів.

Сільськогосподарські підприємства все частіше заміняють частину мінеральних добрив дешевими натуральними, отриманими після переробки гною у біогазових установках. Особливо часто ця тенденція спостерігається у так званих “екологічних господарствах”, що спеціалізуються на вирощуванні екологічних чистої сільськогосподарської продукції.

Відходи тваринного і рослинного походження, що виникають у ході сільськогосподарського виробництва у процесі ферментації в біогазових установках перетворюються на біомасу, що містить багато поживних речовин і може використовуватись як біодобриво та в якості кормових добавок.

Біодобрива зберігають у легко засвоюваній формі значний відсоток азоту та багатьох інших поживних речовин з переробленої біомаси. Крім того, при збродженні гною в біогазових установках значна частина патогенних мікроорганізмів, яєць гельмінтів та насіння бур'янів гине.

Протеїн, целюлоза, лігнін і деякі інші складові переробленого гною не мають хімічних заміників, і можуть бути отримані лише при збродженні біомаси з відходів сільського господарства, і повноцінно замінити їх на мінеральні добрива такі як азот, калій і фосфор досить важко.

Зміст гумінових кислот в біодобривах складає від 13 % до 28 % на суху речовину, а їх концентрація залежить від температури процесу збродження сировини [4].

Гумінові кислоти, присутні в біошламі підвищують опірність рослин несприятливим умовам зовнішнього середовища, сприяють розвитку рослин та скороченню вегетаційного періоду. При цьому врожайність сільськогосподарських культур суттєво збільшується [5].

Одним з найбільш важливих наслідків застосування біошламу є поліпшення якості ґрунтів за рахунок швидкої гуміфікації рослинних залишків. При цьому збільшується вміст поживних речовин покращується гігроскопічність, збільшуються амортизуючі і регенеруючі якості ґрунтів. Мінеральні речовини з переробленої біомаси сприяють росту та активному розвитку ґрунтових мікроорганізмів, що сприяє підвищенню засвоєння поживних речовин рослинами [6].

При використанні технологій біогазової ферментації частка непереробленого гною, внесеного на поля зменшується, що викликає поліпшення гігієнічно-санітарного стану сільської місцевості та сіл. У процесі ферментації у біогазових установках гній обеззаражується та очищається від гельмінтів та патогенних мікроорганізмів і т.ін. Покращується стан повітря, значно зменшуються неприємні запахи від гною.

Є ще чимало переваг для розвитку біогазових установок у сільських місцевостях:

– доступність використання біогазу як у великих так і у малих фермерських господарствах, громадських об'єктах;

– зменшення емісії CO<sub>2</sub>;

– створення і гарантування робочих місць;

– альтернативний напрямок виробництва в аграрному господарстві;

– гарантія доходів і збільшення неоднорідності продукції (зменшення інвестиційного ризику в господарстві);

– підвищення рівню енергетичної незалежності сільських регіонів.

У процесі дослідження процесу практичного використання біогазових установок (БГУ) у аграрних підприємствах Польщі запропоновано наступні пропозиції щодо покращення перспектив їх розвитку:

– створення позитивного ставлення сільського населення до біогазових установок, популяризації їх у мас-медіа;

– підготовка осіб, що приймають інвестиційні рішення (представники районної та обласної влади, потенціальні приватні інвестори).

– спрощення формально-юридичних процедур;

– підтримка проектів місцевою владою та фінансовим сектором (спеціальні механізми підтримки інвестування, напр., фонди і контракти);

– розробка типових проектів малих біогазових установок різної потужності разом з кошторисом.

Такий крок здешевить проект за рахунок зменшення коштів на розробку проектної документації, що зробить БГУ доступнішим для малого та середнього секторів фермерських господарств;

– поширення інструкцій виробників пристроїв для обладнання біогазових установок;

– співробітництво аграрних підприємств, спільна реалізація проектів з впровадження та експлуатації біогазових установок. Досвід та розрахунки показують, що потужніші БГУ є більш технологічними та економічними, що дозволяє зменшити витрати на експлуатацію установки та збільшити прибуток;

– виконання економічного аналізу доцільності інвестування.

Виконання таких кроків дозволить сподіватись у майбутньому на двонаправлений розвиток біогазових установок:

– малі біогазові установки (наприклад, установки < 500 кВт в аграрних господарствах);

– централізовані біогазові установки (наприклад, установки > 500 кВт при кожній сільраді).

Останні два роки у Польщі спостерігається динамічне зростання виробництва пристроїв та агрегатів для пелетування та брикетування біомаси з одного боку, і збільшення кількості твердопаливних котлів та камінів для спалювання такого виду палива з іншого. Одним з найважливіших факторів такої зацікавленості, безперечно, є нижча ніж у традиційних видів палив ціна, але свою роль відіграють і доступність, екологічність та необхідність утилізації біомаси. Найпростішим способом виробництва теплової енергії з біомаси є її пряме спалювання – тепла енергія 1 кг соломи з вологістю 15 % становить біля 14,3 МДж, що відповідає запасам теплової енергії 0,81 кг деревини для опалення, 0,75 кг бурого вугілля або 0,41 м<sup>3</sup> природного газу [7].

У Польщі щороку виробляється близько 25 млн. т соломи (еквівалентних 11,5 млн. т вугілля) [8]. Оцінюється, що для енергетичних цілей можна використати близько 8 – 10 млн. т, це дозволить зменшити використання вугілля приблизно на 4 – 5 млн. т, а також зменшити викиди CO<sub>2</sub> до атмосфери приблизно на 8 – 10 млн. тонн. Ціна тонни соломи складає 80 – 100 злотих [7]. Спалювання соломи супроводжує залишкова емісія SO<sub>2</sub>, а обсяги ж емісії NO<sub>x</sub> подібні до вугільних котелень. Зольні залишки становлять 3 – 5 % від маси спалюваної соломи. Головною складовою попелу є калій, що може використовуватись у якості добрив.

Солома, що спалюється у котлах, характеризується великою неоднорідністю та різним вмістом мінеральних частин і, що дуже важливо, різною вологістю. Летючі складові соломи сягають до 70 %. Тому солома вважається досить складним паливом для ефективного спалювання, адже для отримання нормального режиму горіння соломи необхідно, щоб її вологість не перевищувала 20 % [9].

Сучасні котлоагрегати для спалювання соломи дозволяють отримати показники ККД на рівні 80 – 90 % з наднизькими показниками викидів [10].

У процесі спалювання соломи горючі гази і недоокислені частки палива вимагають допалення при температурі понад 800 °С, перед тим як вони охолонуть у зоні теплообмінника котла. Для такого способу спалення використовують різні конструкції котлів, складність якої залежить насамперед від потужності котла.

Можна виділити три головні типи котлів для спалювання соломи [11]:

– котли з “сигарним” спалюванням всього тюку соломи. Переважно це великі котли, якими забезпечені теплові мережі і теплоелектроцентралі, оснащені автоматичною системою завантаження тюками соломи масою до 500 кг;

– котли для спалювання подрібненої соломи малої та середньої теплової потужності. Подача соломи відбувається від соломорізки пресованої соломи (кожна з яких пристосована для окремого виду тюків соломи) через систему транспортерів або за допомогою повітряного потоку. Паливо подається безперервно. Система автоматичної подачі соломи істотно впливає на вартість всього агрегату;

– котли з двофазним спалюванням тюків малої та середньої потужності. Двофазне спалювання є комбінацією процесів газифікації біопалива та спалювання газу і часток палива в потоці припливного повітря.

У більшості польських господарств соломоспалювальні котли включені до мережі центрального обігріву паралельно з основним опаленням, що дозволяє зберегти енергетичну безпеку на випадок браку пелетів або брикетів з соломи. Єдиним обмеженням для такого проекту є потреба у додатковому просторі у котельнях під обладнання. Котли середньої потужності пристосовані для спалювання тюків вагою до 12 кг. Обслуговування котлів дуже просте. До котлів потужністю до 100 кВт завантажуються декілька невеликих брикетів вагою до 12 кг (від 2 до 6 штук) не частіше, ніж три рази на добу. Влітку однієї загрузки соломи на добу достатньо для підігріву води для системи гарячого водопостачання. Застосування у системах гарячого водопостачання та обігріву теплотвірника дозволяє значно полегшити їх обслуговування. Ємність вмістилища розраховується, виходячи з потужності котла. Коефіцієнт корисної дії твердопаливних котлів, розрахованих на спалення брикетів, не перевищує 80 %. Великим недоліком для використання цього типу котлів є їх вимогливість до вологості соломи ( $\leq 20\%$ ). Підвищений вміст води призводить до значного зменшення теплотворної здатності, навіть до 8 МДж/кг (тобто майже до 50 %), та неповного згорання паливних брикетів [11].

Для кращого зберігання соломи та підвищення ефективності процесу спалювання широко застосовується операція пелетування та брикетування.

Пелети – це паливо, вироблене методом пресування під великим тиском у спеціальну форму. Солома добре пресується при вологості 17–18 % з додаванням зв’язуючої речовини (рисового або кукурудзяного борошна у кількості декількох відсотків на тону, яке отримують з молоткового млина). У процесі пелетування соломи використовують електроенергію у два рази більше, ніж при її брикетуванні. Суха солома, зібрана у полі, як сировина для пелетування, не потребує додаткового сушіння ( $< 15\%$  вологості) [12]. Основне обладнання для пелетування: подрібнювач, млин молотковий, гранулятор з пелетуючими насадками.

Брикетки – екологічне паливо, що виробляється методом холодного або гарячого пресування нарізної соломи без додавання будь-яких хімічних наповнювачів та клеїв. Брикетки можуть застосовуватися для спалювання разом з вугіллям або окремо в традиційних твердопаливних котлах, камінах, печах, теплостанціях та автоматизованих котельнях. Теплотворна здатність брикетів становить від 15,5 до 17,5 МДж/кг (1 т вугілля за енергією дорівнює 1,25 т брикетів).

У відповідності до зміни стратегій використання сільськогосподарських угідь, польське землеробство останнім часом все більше орієнтується на вирощування енергетичних культур в якості сировини для промисловості і локальної енергетики. Найбільш поширеними енергетичними культурами у Польщі є тополя, верба, міскантус, вільха, акація та ін. Беручи до уваги майже удвічі більший щорічний приріст біомаси у порівнянні з деревиною і у півтора рази більшу теплотворну спроможність, їх можна вважати одним із важливих видів поновлювального твердого енергоносія. Собівартість отримання сухої речовини таких культур сьогодні знаходиться у межах 150–200 грн/т, а питома теплота згорання більше 3000 ккал/кг, що робить цей вид палива значно конкурентоздатнішим у порівнянні до інших видів твердого палива [11]. Неабияку енергетичну цінність мають луб’яні культури. Біомаса швидко зростаючих енергетичних культур використовується в Польщі як сировина у хімічній промисловості для виготовлення целюлози і метанолу, а також як відновлюване екологічне паливо.

Можна виділити наступні переваги вирощування чагарникових верб для селян:

- низькі витрати праці, що забезпечують швидку окупність інвестиції;
- низькі енергетичні витрати на обробіток при вирощуванні (мала потреба в гною та пестицидах);
- висока продуктивність;
- можливість вирощування на значних площах;
- можливість застосування стандартних машин як для передпосівного обробітку ґрунту, так і для посадки, а з незначними пристосуваннями – й для збору біомаси;
- практично необмежений ринок збуту й можливість загосподаровання деградованих земель;
- безпечність для довкілля (поєднання суспільних цілей: екологічних й сільськогосподарських).

Плантації енергетичних рослин розміщуються у районах з великою вологістю ґрунту, підвищеним рівнем забруднення або іншими негативними ознаками [10].

Видами, найбільш пристосованими до обробітки в Польщі, є різні форми виду *Salix viminalis* – дика верба. Вербу розмножують вегетативним способом за допомогою саджанців, які після посадки до ґрунту укорінюються, утворюючи нові рослини.

Посадковим матеріалом є відростки з параметрами:

– довжина 20 – 25 см; товщина від 5 до 15 мм;

– саджанці виготовляються з однорічних або дворічних відростків.

У Польщі на 1 га висаджується від 20 до 60 тис. саджанців. Висота трирічних відростків на чотирирічних кореневищах коливалася від 5,5 до 6 м, а середня товщина відростка становила 30 мм. Урожай сухої маси деревини верби складає, у середньому, 17,5 тонн/га/рік. Деревину починають заготовляти після двох років обробітки. Це може відбуватися у однорічних, дворічних або трирічних циклах. Цілковитий період користування кореневищем становить близько 30 років. Після цього періоду ґрунт необхідно рекультивувати [13]. Останнім часом *Salix viminalis* рекомендується для охорони середовища на промислових територіях, забруднених важкими металами, при рекультивації ґрунтів, вздовж транспортних магістралей з інтенсивним рухом, біля житлових будинків і промислових будівель. Плантації вербняків виконують також функцію біологічної очистки стоків, що при надходженні на поля вербняку біологічно розкладаються й очищуються. Але основну увагу привертає енергетичний аспект вирощування верби, як цілий напрямок сільськогосподарського виробництва, що є досить прибутковим. Енергетична сировина з верболозу, у принципі, є невичерпним і швидко відтворюваним джерелом енергії. Спалювана деревина значно менш шкідлива для навколишнього середовища, ніж продукти спалювання вугілля. 1 кг брикету із зрубів чагарникової верби за калорійністю відповідає 0,7 кг кам'яного вугілля, а коштує вповоловину дешевше [11].

Отже, найбільш вживаними технологіями використання біомаси сільськогосподарського походження є пряме спалювання у твердопаливних котлах та камінах, а також утилізація у біогазових установках. Одним з найбільш простих з одного боку, а з іншого ефективних способів використання біомаси для теплозабезпечення невеликих фермерських господарств є технологія прямого спалювання рослинних решток або вироблених з них брикетів чи пелет у твердопаливних котлах або камінах.

У залежності від спеціалізації фермерського господарства від 30 до 50 % соломи можна використати на енергетичні потреби. Встановлення брикетувального агрегату дозволяє не тільки забезпечити паливом власне господарство, але й утилізувати “надлишкову” солому, з отриманням додаткового доходу від продажу брикетів.

Використання відходів сільськогосподарського виробництва для енергозабезпечення сільських територій шляхом біоконверсії в біогазових установках дозволяє не тільки утилізувати ці відходи, забезпечити господарство необхідною кількістю теплової та електричної енергії, а й отримати додатково значну кількість дешевого, якісного, екологічного чистого натурального гною для удобрення полів.

Використання біомаси має значимі соціально-екологічні ефекти:

– зменшення техногенного навантаження на навколишнє середовище;

– зменшення викидів CO<sub>2</sub> та інших газів;

– покращення санітарного стану за рахунок регулярної утилізації відходів тваринництва;

– збільшення рівню енергетичної безпеки; можливості заміни значної частини мінеральних добрив органічними – біошлам з біогазової установки (або навіть повна відмова від використання мінодобрив), що дозволяє забезпечити виробництво екологічно-чистої продукції й здійснити переведення фермерського господарства у категорію “екологічних” з отриманням відповідних сертифікатів та доплат від екологічних фондів ЄС.

## **2.9. Стале виробництво твердого біопалива в Україні. Галузеві рішення**

© Корінчук Д. М.

*к.т.н., с.н.с., Інститут технічної теплофізики НАН України, м. Київ, Україна*

© Бунецький В. А.

*здобувач наукового ступеня доктора філософії, Харківський національний університет  
сільськогосподарства ім. Петра Василенка, м. Харків, Україна*

Використання відновлюваних джерел енергії є одним із найбільш важливих напрямів енергетичної політики України, спрямованої на зощадження традиційних паливно-енергетичних ресурсів та поліпшення стану довкілля. Збільшення обсягу використання відновлюваних джерел енергії в енергетичному балансі України дасть змогу підвищити рівень диверсифікації джерел енергоносіїв, що сприятиме зміцненню енергетичної незалежності держави [1, с. 1].

Створювана в Україні галузь біоенергетики має перспективи для розвитку, зумовлені особливостями клімату, потенціалом аграрного та лісного сектору та наявністю кваліфікованої робочої сили. Найбільший енергетичний потенціал в Україні мають такі види біомаси, як відходи сільського та лісового господарства, деревообробки, біомаса з твердих побутових відходів. Нажаль зараз зростанню обсягу виробництва якісного твердого біопалива (ТБП) заважають використання застарілого обладнання та технологій, відсутність імplementованої нормативної бази для сертифікації біосировини, готового ТБП та підприємств-виробників, а також використання первинної, не переробленої біомаси у якості палива. В Україні необхідно ширше використовувати досвід та підходи розвинутих країн Європи та Америки у реалізації біоенергетичних проєктів та у використанні сучасних технологій виробництва ТБП, обладнання теплогенерації та когенерації, у якому спалюють підготовлене біопаливо. Вирішення актуальної задачі створення пелетної галузі на часі, має наукове підґрунтя, яке базується на енергоефективних технологіях та обладнанні для виробництва ТБП другого та третього покоління, економічно обґрунтованих підходах до створення вертикально-інтегрованих енергохолдингів, імplementації європейських систем сертифікування.

Проведемо огляд та аналіз світової та європейської статистики виробництва та споживання пелет. За даними European Biomass Association у 2014 р. споживання біоенергії в країнах ЄС збільшилося майже в двічі в порівнянні з 2000 р та склало 105,5 тис. т н.е. (рис. 2.14). Таке зростання еквівалентне річному обсягу сумарного споживання вугілля промисловістю, житловим сектором та галуззю послуг. Згідно до прогнозів держав-членів ЄС, до 2020 р. щорічне споживання енергії, виробленої з біопалива, сягне майже 140 тис. т н.е., що відповідатиме загальному зростанню на 32 % порівняно з 2014 р., та зростанню на 16,9 % використання біопалива на теплогенерацію, а також на 38 % на електрогенерацію. Частка біоенергетики буде зростати задля досягнення мети скорочення викидів парникових газів на 80 – 95 % до 2050 р. [3, с. 15].

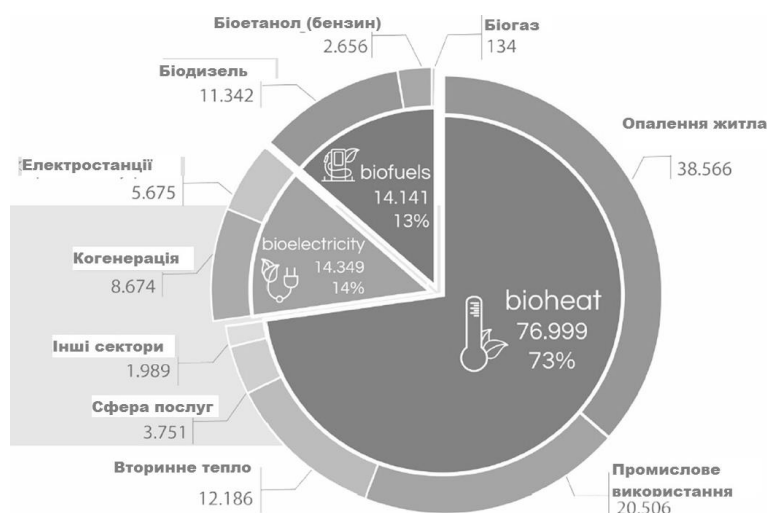


Рис. 2.14. Розподіл кінцевого енергоспоживання за видами споживання, 2014 р., тис. т н.е.  
Джерело: [3, с. 16]

У 2014 р. 73 % біоенергії, яку спожили в Європі, було використано на тепlopостачання (77,999 т н.е.). Частка біоелектрики склала 14 % (14,349 т н.е.), а моторного палива – залишкові 13 % (14,141 т н.е.) від загального обсягу європейського споживання біоенергії [3, с. 16].

Світовий ринок пелет постійно зростає. У країнах ЄС у 2014 р. було вироблено 13,5 млн. т деревних пелет, що робить Європу найбільшим виробником гранул у світі (близько 50 % всього обсягу). За розрахунками АЕВІОМ для 2020 р. саме вклад біоенергетики в енергобаланс країн ЄС стане вирішальним. Біоенергетика складатиме до половини від запланованих 20 % енергоспоживання. У 2014 р. на частку біоенергетики припадало 107 тис. т н.е., тобто 61 % від усіх використаних поновлюваних джерел енергії, і складало 10 % від загального енергоспоживання в Європі. Біоенергетика є єдиним джерелом поновлюваної енергії і здатна забезпечити зеленим паливом усі три енергетичні застосування: виробіток теплоти, холоду та електрогенерацію [3, с. 16].

Використання поновлюваних джерел енергії часто асоціюють із генерацією електроенергії та виробництвом моторного палива. При цьому, виробництво теплової енергії та холоду залишаються недооціненими, хоча мають значний потенціал. Використання енергії на нагрівання та охолодження складає біля 50 % від загального енергоспоживання в країнах ЄС, на потреби якого використовують 82 % викопного палива. Саме тому розширення частки використання поновлюваних джерел енергії є одним із ключових пріоритетів для енергетичної політики ЄС. А значить біоенергетика у наш час є провідною галуззю споживання альтернативної енергії на опалення та охолодження (88 % від використання усієї поновлюваної енергії) [3, с. 12].

У 2015 р. обсяг споживання деревних пелет у країнах ЄС-28 склав 20,3 млн. т – 6 % від загального обсягу твердої біомаси, що було використано у Європі. На відміну від інших частин світу, у яких споживання пелет залишається незмінним, або навіть зменшується, у 28 країнах ЄС воно невпинно зростає. Протягом 2015 р. у ЄС було вироблено 14,1 млн. т пелет, що покривало 70 % попиту.

Отже, більшу частку попиту покривало власне внутрішнє виробництво. Обсяг ТБП, якого не вистачає, поставляють, в основному, з Північної Америки, та приблизно 1/6 частку з СНД [3, с. 23].

Вочевидь витрати на транспортування пелет з України до Європи морем або залізницею значно нижчі, ніж з Північної Америки або Сибіру. Нажаль відсутність сертифікованих виробників в Україні, тобто відсутність пелетної галузі, практично нівелюють можливості нашої держави конкурувати на пелетному ринку ЄС, а відсутність імplementованої нормативної бази заважають успішному розвитку галузі.

Пелетна галузь вносить значний вклад у економіку багатьох країн, створює робочі місця, сприяє розвитку місцевих ресурсів та знижує енергетичну залежність ЄС від викопного палива. Німеччина – найбільший виробник деревних пелет, щорічно виготовляє 2 млн. т, за нею йдуть Швеція, Латвія, Естонія та Австрія, які мають значні лісові ресурси. Важливо відзначити, що у ЄС на фоні загального зростання виробництва пелет лише найбільший виробник, Німеччина, знизилася обсяг на 4,8 %. Найбільший приріст виробництва показали Естонія та Латвія. Багаті лісами та агровідходами Україна та Білорусія виробляли менше 600 тис. т на рік. Це свідчить лише про відсутність стабільно працюючої пелетної галузі. Перед Україною постає задача її створення та розвитку. Власний ринок та економічно привабливий ринок Європи, до якої нам дуже близько у порівнянні з іншими постачальниками, будуть споживати лише якісні пелети від виробників, які отримають сертифікат EN Plus та власний ідентифікаційний номер.

У країнах ЄС-28 у 2015 р. було спожито 20,3 млн. т деревних пелет, що на 7,8 % більше, ніж у 2014 р. Більшу частку споживання (63,9 %) було використано на теплогенерацію. Загальну кількість пелет, використану на виробництво теплової енергії, можна розподілити на три частини – опалення житла, комерційне опалення, та тепло, що генерували ТЕС, при цьому на опалення житла – 8,5 млн. т пелет (42 % від загального споживання), на комерційну теплогенерацію – 3,2 млн. т (15,7 %), лише на електрогенерацію – 6,7 млн. т (33,1 %), когенерацію – 0,6 млн. т (3 %), когенерацію та опалення – 1,2 млн. т (6 %). За період з 2014 по 2015 рр. споживання пелет на опалення зросло на 4,2 %, не зважаючи на м'яку зиму та порівняно низькі ціни на нафту. Використання деревних пелет для виробництва теплової енергії завоювало усі ринки тепла країн ЄС. Італія, як найбільший споживач пелет, використала їх у 2015 р. 3,1 млн. т на теплогенерацію, з них 92 % на опалення житла та 8 % на комерційне опалення [3, с. 26].

Серед першої п'ятірки країн, що використовують пелети, розподіл їх використання значно відрізняється. В Італії, Німеччині та Франції більшість пелет спрямовано на опалення житла, відповідно 92 %, 58 % та 95 %. У Данії 56 % пелет використовують на ТЕС для когенерації, у Швеції 60 % пелет – для комерційного опалення та промислового теплоспоживання [3, с. 26].

Слід зазначити, ще 20 років тому ніде у світі не існувало окремої пелетної галузі. Тоді у країнах ЄС, Північній Америці та Австралії тільки починали у невеликій кількості виробляти пелети, в основному для утилізації відходів та побутового використання на опалення. Зараз у ЄС, США та Канаді становлення галузі завершилося. Навіть у Латинській Америці є держави, які повністю перейшли на використання альтернативних джерел енергії. У багатьох країнах успішно працюють пелетні виробництва, населення призвичаїлось широко використовувати білі деревні пелети для опалення та гарячого водопостачання. На багатьох ТЕС та ТЕЦ у великих обсягах спалюють низькоякісні сірі пелети, а деревообробні та сільськогосподарські підприємства економічно пресують власні відходи та використовують отримані при їх згорянні тепло та електроенергію на технологічні потреби. Очевидно, що комплекс об'єктивних чинників – боротьба за покращення екології, прагнення до зниження викидів вуглекислого газу, зростання цін на викопне паливо – сприяли бурхливому розвитку галузі. Пелетний бізнес у багатьох країнах успішно працює або перебуває на етапі становлення. На відміну від нафти, газу та вугілля, це – поновлюваний вид палива, і при його спалюванні в атмосферу викидають стільки CO<sub>2</sub>, скільки поглинули рослини під час зростання. Тому деревина та продукти з неї належать до тих безпечних видів палива, використання яких не загрожує парниковим ефектом.

Привабливість пелет у якості палива полягає в тому, що за незначного обсягу вони мають високу теплотворну здатність, екологічно безпечні та економічно вигідні. Одна з найважливіших переваг – висока постійна насипна щільність, що дозволяє легко перевозити їх на великі відстані. А завдяки правильній формі, невеликому розміру та однорідній консистенції, можна автоматизувати процес завантаження-розвантаження та спалювання цінного палива. Теплота, що виділяється під час згорання пелет, в 1,5 рази більше, ніж у звичайних дров, та наближається до вугілля. Викиди CO<sub>2</sub> у 10 – 50 разів

менші, а зольність у 15 – 20 разів менша, ніж у вугілля. Від звичайної деревини гранули відрізняються більш низьким вмістом вологи 8 – 12 % у порівнянні з 30 – 50 % у звичайних дровах, і приблизно у 1,5 – 2 рази більшою щільністю. Тому їх спалювання значно ефективніше та безпечніше, ніж відходів деревини [3, с.148 – 211; 4, с. 58 – 59; 6, с. 71 – 77].

Чому таким важливим є перехід до використання пелет у теплоенергетиці можна зрозуміти шляхом порівняння їх характеристик з властивостями первинної біомаси (дров, стружки, тирси, гілок, кори, порубкових залишків) – табл. 2.15.

*Таблиця 2.15*

**Порівняльні характеристики первинної біомаси та гранульованого біопалива**

Первинна біомаса (недоліки)	Гранульоване біопаливо (переваги)
Складність зберігання та транспортування у зв'язку з низькою насипною щільністю, акумулюванням холоду взимку та незначним терміном зберігання без втрати споживчих властивостей	Стандартне пакування (біг-беги), зручне завантаження та транспортування, тривалий термін зберігання без втрати споживчих властивостей. Висока насипна щільність (600 – 800 кг/м <sup>3</sup> ). Гранули гідрофільні і повільно набирають вологу з довкілля, та не змерзаються взимку
Неоднорідний гранулометричний склад та розмір шматків (гілки, пні, відходи деревообробки, кора, деревні залишки різного розміру, порубкові залишки). Висока зольність	Стандартний розмір пеллет відповідно до характеристик класу А1 або А2, однорідність, стандартна зольність, вологість та теплотворна здатність
Низька ефективність та неекологічність спалювання. Для виробництва 1 ГВт-год. енергії необхідно 1200 – 1800 м <sup>3</sup> подрібненої біомаси	Висока ефективність і екологічна чистота спалювання (0,3 – 2 % золи, 16 – 19,5 МДж/кг). Для виробництва 1 ГВт-год. енергії необхідно 385 м <sup>3</sup> пелет, тобто у 4 – 5 разів менший обсяг палива
Висока пористість біосировини, вологість сягає 30 – 50 %. Причина – капілярно-пориста природна структура рослин	Стандартна вологість пелет 6 – 8 %
Необхідність попереднього підготування палива до спалювання. Наявність домішок та неорганічних забруднень	Повна готовність до спалювання. Домішки та забруднення відсутні
Можливість використовувати тільки деревне паливо, солому, кукурудзяні качани та деякі інші види первинного палива	Пелети можна виготовляти з широкого спектру біосировини. Тому сировинна база для їх виробництва значно більш різноманітна та широка, ніж просто дрова
Низький рівень автоматизації спалювання. Необхідність ручного завантаження палива до котла	Можливість автоматизації процесу спалювання та завантаження пелет до твердопаливного котла

*Джерело: авторська розробка*

Важлива екологічна безпека спалювання, особливо в умовах опалення житла. Жодний європеець не стане спалювати у своєму комині або твердопаливному котлі несертифіковане паливо, навіть якщо його можна придбати за привабливою ціною. Сертифіковані трейдери теж не будуть ризикувати своїм сертифікатом задля продажу пелет без сертифіката якості. Нажаль, українські споживачі не мають такої високої культури споживання. Але і вони навчаться використовувати сертифіковані пелети класу А1 у побуті. І тоді період свавілля на українському ринку пелет швидко скінчиться. На ньому залишаться лише ті виробники, які отримали сертифікат на своє виробництво, та мають його на кожную партію своєї продукції. Всі сертифікати мають бути зареєстровані у Європейській базі даних та мати відповідний номер. Різниця між властивостями пелет та вологої щепи очевидна (табл. 2.16).

*Таблиця 2.16*

**Порівняння споживчих характеристик пелет та вологої щепи**

Показник	Пелети	Волога щепи
Вартість палива	Висока	Низька
Логістика	Зручна	Незручна
Зольність сировини, %	0,5	2 – 10
Теплотворна здатність, МДж/кг	17	7 – 10
Вологість, %	4 – 7	35 – 50
Екологічна безпечність	Висока	Низька
Особливості обладнання для спалювання	Автоматичний котел	Котел, економайзер, скрублер, станція нейтралізації конденсату, очищення, гранулювання осаду, утилізація води, постійний моніторинг скидання відходів

*Джерело: авторська розробка*

У 2014 р. в Україні було вироблено біопаливо, кількість якого в тепловому еквіваленті склала 99700 ТДж, а у 2015 р. було вироблено енергії з біопалива та відходів 88 ТДж, або 2,3 % від загального постачання первинної енергії.

Нажаль, зараз український ринок пелет не має усталених правил:

– пелети, які пропонують до продажу, не сертифіковано відповідно до європейських стандартів, а ті сертифікати, які можуть пред'явити виробники, було видано українськими органами стандартизації, які не акредитовані в Європі;

– Європейські стандарти офіційно не імplementовано в Україні на державному рівні;

– вартість пелет коливається в межах 100 – 120 євро за тону, що практично не покриває витрати на їх неефективне виробництво;

– вироблену на українських підприємствах пелетну продукцію використовують для покриття власних виробничих потреб (забезпечення виробництва і побутової сфери теплом та електроенергією);

– на ринку знайти якісні пелети побутового та промислового призначення дуже важко, але їх у великій кількості експортують до ЄС через Польщу, Литву, Естонію та в інші країни, де надають сертифікат та продають не дешевше 200 євро за тону. Про це свідчить зростання обсягів виробництва пелет, наприклад в Естонії, площа лісів у якій не йде ні у яке порівняння з українськими і сировинна база якої неспроможна до таких обсягів виробництва.

Цивілізований ринок пелет в Україні необхідно створювати, спираючись на європейський досвід та систему стандартизації. Згідно до “Національний план дій з відновлюваної енергетики на період до 2020 року” [5] відновлювані джерела енергії в системах опалення та охолодження до 2020 р. повинні складати не менше 12,4 %, очікуваний загальний обсяг споживання енергії з відновлюваних джерел – 8590 тис. т н.е. Обсяг генерації електричної енергії з твердої біомаси повинен досягти 660 МВт, теплової енергії – 4580 тис. т н.е. Наразі на українському ринку пелет такої кількості палива не виробляють.

Складний процес започаткування української пелетної галузі тільки розпочався. Причини її створення такі ж, як і в інших країнах:

– постійне зростання вартості викопних видів палива і, як наслідок, збільшення попиту на екологічне біопаливо;

– наявність доступної та різноманітної сировинної бази – відходів деревообробки, лісового та сільського господарства;

– наявність промислового потенціалу, необхідного для створення складного пелетувального обладнання;

– введення “зеленого тарифу”, що стимулює розвиток альтернативної енергетики, а отже, і зростання потреби в біопаливі.

Але умови роботи галузі значно відмінні від європейських:

– відсутня стандартизована та сертифікована сировина;

– багато хто із фахівців на початкових етапах створення виробництва під час складання бізнес-плану вважають, що сировина є безкоштовною (наприклад, власною), існує в необмеженій кількості, і не враховують витрати на логістику постачання та сезонного зберігання;

– відсутня нормативна база для постачальників сировини, виробників, трейдерів, що робить ринок нестійким і ненадійним, різко уповільнює його розвиток;

– відсутні сучасні енергоефективні технології виробництва продукції, на підприємствах використовують застаріле обладнання, попередньо призначене для продукування комбікорму;

– виробництва, що функціонують на великих підприємствах з власною значною сировинною базою (меблеві та деревообробні комбінати, оливоекстракційні заводи та ін.) не продають свої відходи на ринку, а використовують їх виключно на власні потреби;

– в Україні працюють лише чотири підприємства, що виробляють сертифіковану пелетну продукцію. Вони не вийшли на проектну потужність, та повністю експортують свою продукцію.

Рішення проблем лежить у площині створення внутрішнього ринку споживання пелет і виробництві якісної пелетної продукції з використанням ефективної технології, обґрунтованої логістики та оптимізації організації виробництва.

Шлях розвитку пелетного бізнесу в Україні не простий та пов'язаний з багатьма помилками. Як і в усіх країнах, у нас пелетна галузь пройшла декілька етапів розвитку. Піонери галузі, недостатньо розуміючи технологію виробництва та фізико-хімічні властивості біополімерів, не вважали підготування і пресування біосировини складною інженерною задачею. На більшості підприємств використовували вживане комбікормове обладнання, яке залишилось після розвалу колгоспів. Для таких ліній були відсутні технічні умови, технологічні карти, урахування використовуваної сировини. Воно швидко псувалося, вимагало значних експлуатаційних енерговитрат. А відсутність детального бізнес-плану виробництва не давало змоги успішно організувати виробництво. Несумісність фізичних властивостей та технологічних процесів призвели до зупинки таких виробництв [2, с. 9 – 10].



І з моменту, коли приходило це розуміння, розпочинався вдалий пелетний бізнес для тих інвесторів, які зуміли дійти до цього етапу розвитку свого бізнесу. Після складання обґрунтованого бізнес-плану та придбання якісного обладнання, необхідно було навчити персонал, та організувати виробництво відповідно до європейських стандартів. Тобто провести сертифікування виробництва, організувати лабораторію для контролювання якості сировини, процесу виробництва та кожної партії готової продукції.

Після виконання всіх робіт з сертифікації можна було офіційно та з зиском продавати свою продукцію європейським трейдерам. Гарним рішенням всіх проблем є також створення вертикально інтегрованого енергохолдингу, до складу якого входять виробники біомаси, її переробники у пелетну продукцію та користувачі цієї продукції на енергетичні потреби власного виробництва та власну комунальну сферу.

Окреме пелетне виробництво може бути прибутковим за умови використання енергоефективних технологій та сучасного обладнання. Але найбільш прибутковим за нашими розрахунками буде вертикально-інтегрований енергохолдинг, який охоплюватиме замкнений цикл виробництва від вирощування біосировини до виробництва енергії [4, с. 59, 63]. Інвестиційна привабливість енергохолдингу полягає у таких основних чинниках, як:

- швидка окупність капіталовкладень (рентабельність від 20 %, термін окупності від 1,5 до 4 років) та доступність дешевих державних та іноземних інвестицій в енергоефективний проект;
- один із варіантів найбільш економічно ефективного способу утилізації органічних відходів;
- попит на дешеву теплову енергію та пелетне паливо на ринку України значно перевищує його пропозицію;
- посилення екологічних вимог до утилізації відходів;
- порівняно “легкий” доступ на ринок енергоносіїв та можливість отримання “зеленого тарифу”;
- наявність різноманітної сировинної бази;
- позитивний імідж екологічного бізнесу, який дозволяє зменшити викиди в атмосферу CO<sub>2</sub> і зміцнює енергонезалежність країни.

Для створення сучасного вертикально-інтегрованого енергохолдингу з виробництвом пелет необхідно покроково пройти такі етапи виконання робіт:

- аналіз сировинної бази в конкретному регіоні з урахуванням можливості вирощування енергетичних рослин та логістики поставок біосировини;
- розробка та обґрунтування бізнес-плану пелетного виробництва;
- обирання та розрахунок технології переробки для сировини конкретного виду та обсягу;
- проектування, виготовлення та монтування обладнання;
- створення автоматизованої системи керування виробництвом;
- організація ринку біопалива в регіоні та країні загалом;
- організація компаній з енергогенерації у межах холдингу або переведення потужностей діючих підприємств на використання твердого біопалива (пелет, брикетів);
- реалізація повного біорефайнінгу біомаси та її переробів від біосировини до енергії та конструкційних матеріалів.

Як відомо, найбільший обсяг прибутку виробнику і країні дає виробництво, яке виконує більшу кількість переробів сировини. Просто торгувати сировиною – це справа слабо розвинутих економік. Саме тому для ефективної роботи пелетної галузі необхідно включати пелетне виробництво, як один із більш важливих переробів, у замкнуту структуру регіонального енергохолдингу. До його складу повинні входити виробництва, які забезпечують замкнуте коло від виробництва сировини до постачання високотехнологічної продукції кінцевому користувачеві. Створення такого холдингу здатне забезпечити максимальний прибуток. Його діяльність повинна охоплювати всі 5 переробів біосировини (рис. 2.15).

Сертифікація та аудит пелетного виробництва необхідно виконувати відповідно до норм європейських стандартів. Слід зазначити, що сертифікована продукція коштує у декілька разів дорожче. Для реалізації пелетної продукції за європейськими цінами як в ЄС, так і в Україні, необхідно провести повний цикл сертифікації сировини, виробництва, готової продукції (кожної партії), складів продукції та трейдерів.

Отже, запропоновані підходи до створення пелетних виробництв з урахуванням виду та обсягу біосировини як складової вертикально-інтегрованих енергохолдингів дозволять створити в Україні економічно прибуткову пелетну галузь, покращити екологію та збільшити рівень енергетичної незалежності України.



Рис. 2.15. П'ять переробів біосировини:

1-й перероб: вирощування, заготовляння та зберігання різноманітної біосировини; 2-й перероб: переробка біосировини та виготовлення паливних пелет (брикетів), у т.ч. торефікованих; 3-й перероб: двохстадійне спалювання біопалива з отриманням теплової енергії, деревного вугілля (біочару); 4-й перероб: генерація електроенергії та її передавання в Енергоринок за “зеленим” тарифом; 5-й перероб: виробництво конструкційних матеріалів, органічних добрив та хімічної продукції повного біорефайнінгу біосировини

*Джерело: узагальнено авторами*

Основними рисами сталого розвитку пелетної галузі України має стати:

- використання існуючої сировинної бази, яку раніше вважали відходами, яка забруднювала довкілля, вимагала утилізації та не давала ніякого прибутку;
- створення нових технологій переробки біополімерів з повним біорефайнінгом (п'ять переробів біосировини);
- формування нових ринків збуту від енергетики та конструкційних матеріалів до побутового використання на підігрівання води та опалення, цінної продукції органічної хімії, наприклад біочару);
- створення новітніх унікальних екологічних конструкційних матеріалів, виробництво цінних органічних хімічних продуктів та добрив;
- поступове витіснення з енергобалансу традиційних видів викопного палива;
- висока прибутковість підприємств галузі, які впроваджують нещодавно створені технології, сучасний рівень автоматизації технологічних процесів, повна сертифікація кожної партії продукції та самого виробництва. В галузі немає старих, погано автоматизованих підприємств. Ті компанії, що використовують застарілі та неефективні технології, які не відповідають виду перероблюваної сировини та її фізико-хімічним властивостям, взагалі не зможуть конкурувати на цьому ринку і дуже швидко припиняють свою діяльність.

Сертифікована пелетна продукція, здатна заповнити не лише український, а й європейський ринок, сприятиме економічному зростанню нашої країни. Нова галузь створить додаткові робочі місця.

## **2.10. Перспективні напрями використання відновлюваної енергетики у сільському господарстві України**

© Трипольська Г. С.

*к.е.н., с.н.с. сектору прогнозування розвитку ПЕК відділу секторальних прогнозів та кон'юнктури ринку, ДУ “Інститут економіки та прогнозування НАН України”, м. Київ, Україна*

Україна має значний потенціал відновлюваних джерел енергії (ВДЕ). Завдяки порівняно високому “зеленому” тарифу виробництво електроенергії з відновлюваних джерел поступово привертає увагу бізнесу та домогосподарств. В промисловості впроваджуються проекти з ВДЕ, особливо для заміщення природного газу та в рамках загального підвищення ресурсоефективності власного виробництва. В той же час, сільське господарство теж може долучитися до використання ВДЕ, оскільки поки що використання ВДЕ у сільському господарстві незначне [11].

Вважається, що комбінація ВДЕ та сільського господарства є надзвичайно виграшною: так, оцінюється, що лише вітроенергетика у сільських районах США може сприяти формуванню 80 тис. робочих місць у США та сприяти отриманню 1,2 млрд. дол. США додаткових прибутків фермерам та мешканцям сільських територій США до 2020 р. Потроєння використання енергії біомаси в США дозволить фермерам отримати до 20 млрд. дол. США додаткових прибутків і знизити викиди парникових газів в обсягах, що дорівнюють усуненню 70 млн. транспортних засобів з доріг [18].

У сільському господарстві є низка особливостей енергоспоживання. Так, що стосується критеріїв енергетичної ефективності, то у рослинництві на 1 витрачену калорію виробляється 2 – 4 кал енергії біомаси рослин. У тваринництві 1 витрачена кал дає лише 0,2 кал “виходу”, а на синтез 1 г білка необхідно витратити 9 г рослинного білка. В цілому ж при зростанні виробництва сільськогосподарської продукції у 2 – 3 рази його енергоємність зростає у 10 – 15 разів [6]. Основними видами енергетичних попитів в сільському господарстві є такі:

Тваринництво: обігрів та охолодження приміщень, вентилявання, опромінення, годівля, напування, доїння, первинна переробка продукції (наприклад, молока), створення мікроклімату (наприклад, вологості тощо), прибирання гною, транспортування продукції до місць переробки.

Рослинництво: підготовка насіння, обробіток ґрунту, зрошування, сівба, догляд насаджень (полоття, внесення ЗЗР, добрив тощо), збирання та транспортування врожаю.

За енерговитратами ці попити нерівнозначні. Так, у тваринництві на обігрів приміщень, нагрівання води, приготування корму взимку витрачається до 80 % усієї енергії, 20 % – на комунальні потреби та освітлення. У рослинництві для вирощування зернових в структурі прямих витрат енергії найбільше енергії витрачається на транспортування та збирання врожаю (табл. 2.17), а збирання не зернової частини врожаю вимагає витрачання третини палива на вирощування та збір культур [9].

Таблиця 2.17

**Структура прямих експлуатаційних витрат енергії  
на 1 га вирощування пшениці (врожайність – 52,9 ц/га)**

Цикл роботи	Витрата енергії, ГДж	Витрата енергії, %
Основний обробіток ґрунту	1,1	7
Внесення добрив	1,3	9
Передпосівний обробіток ґрунту і сівба	1,5	10
Догляд за посівами	0,7	5
Збирання врожаю	4,4	30
Транспортування	5,9	40
Всього	14,9	100

Джерело: [9]

Ще більш енерговитратним є вирощування просапних культур, наприклад, цукрових буряків (табл. 2.18).

Таблиця 2.18

**Енерговитрати на вирощування продукції рослинництва в лісостеповій зоні України**

Культура	Сукупні витрати енергії, МДж/га	Прямі витрати				Опосередковані енерговитрати (добрива, хімікати)	
		Палива		Праці		МДж/га	%
		кг/га	МДж/га	люд.-год./га	МДж/га		
Цукрові буряки	53830,5	240,1	12757,8	63,4	2480,7	38591,0	71,7
Пшениця озима	17385,1	107,5	5983,7	14,4	537,5	10863,9	62,5
Ячмінь ярий	11258,0	70,5	3744,1	8,9	386,5	6927,4	61,5
Кукурудза на зерно	24311,6	165,0	8737,3	18,8	818,2	14756,1	60,7
Кукурудза на силос	27129,7	198,9	10517,8	24,7	1071,3	15540,6	57,3
Горох	10810,5	81,3	4512,5	9,9	404,2	5893,8	54,5
Конюшина	20886,4	91,6	10600,5	25,1	1504,5	8181,4	40,3

Джерело: [9, с. 405]

В сільському господарстві залежність виробленої продукції від використання виробничих ресурсів в цілому та енергетичних ресурсів зокрема є значно менш функціональною та більш опосередкованою, ніж у промисловості [9], тож свідчити про ефективність використання енергетичних ресурсів у сільському господарстві дещо складно, оскільки результативність виробництва залежить від природних, погодно-кліматичних, епідеміологічних умов, сортів, видів, порід тощо. Енергоспоживання в сільському господарстві має й ряд інших особливостей, зокрема у тваринництві

переважну більшість технологічних процесів не можна перенести на тривалий час (так, перенесення доїння не повинне перевищувати 1,5 год. тощо); показники енергоспоживання як у рослинництві, так і у тваринництві залежать від комбінації погодних умов, сезону та часу доби; у рослинництві спеціалізована техніка використовується обмежений час, решту року переважно простояє [9] тощо.

Придбання нових транспортних засобів в Україні надзвичайно відстає від виведення їх з експлуатації, що не лише суттєво збільшує навантаження на один обліковий трактор, а й істотно знижує врожайність та клас вирощених культур. Станом на 2010 р. до 80 % наявної сільськогосподарської техніки відпрацювало амортизаційних строк експлуатації [8]. Рівень механізації сільського господарства поступово знижується (табл. 2.19). Щоправда, протягом 2000 – 2015 рр. середня потужність двигуна трактора в Україні зросла практично на третину, досягнувши 95 кВт. Крім того, багато господарств практикують різні види оренди техніки у інших сільськогосподарських підприємств.

Таблиця 2.19

**Сільськогосподарська техніка в сільськогосподарських підприємствах, 2000 – 2015 рр., тис. шт.**

Вид техніки	2000 р.	2005 р.	2010 р.	2012 р.	2013 р.	2014 р.	2015 р.
Трактори	318,9	216,9	151,3	150,1	146	130,8	127,9
Зернозбиральні комбайни	65,2	47,2	32,8	32	30	27,2	26,7
Кукурудзозбиральні комбайни	7,9	4,8	2,5	2,1	2,0	1,8	1,6
Картоплезбиральні комбайни	3,6	1,9	1,7	1,6	1,5	1,3	1,2
Бурякозбиральні комбайни	13,0	8,5	4,2	3,6	3,0	2,7	2,4
Льонозбиральні комбайни	1,7	1,0	0,5	0,3	0,3	0,2	0,2

*Джерело: [16]*

Наявна техніка потребує пального, для чого частково можна використовувати біодизель. Слід констатувати, біодизель в Україні станом на 2018 р. практично не виробляється. Основною причиною цього є встановлення у 2014 р. ставки акцизу на біодизель у тому ж розмірі, що й акциз на дизельне паливо. До 2014 р. найбільшими його виробниками були “Оріана-Галев” (м. Калуш; сировина – ріпак), “Лібер” (м. Херсон; сировина – ріпак), “Стирол” (м. Горлівка; сировина – насіння соняшника). У фермерських господарствах країни було збудовано 300 установок з виробництва біодизеля загальною потужністю близько 500 тис. т на рік, які використовували його для власних потреб. Зважаючи на неприбутковість виробництва біодизеля, низка підприємств перепрофілювалися на виробництво хімічної продукції зі схожими властивостями (олії для фарб тощо). В Україні розроблена та наявна технологія виробництва біодизелю з мікрородоростей [14], проте в промисловому масштабі вона ще не розвинена. Можна сподіватися, що виробництво біодизелю в Україні активізується у випадку прийняття закону, який передбачатиме обов’язкове домішування біологічного компонента до палива.

Попри щорічне зменшення усіх категорій техніки в сільському господарстві (табл. 2.19), в цілому сільське господарство України механізоване, тож зменшення показників енерговитрат вимагає як деяких нових технологій, так і вдосконалення наявних. Потенціал використання нових для України технологій в сільському господарстві є як в тваринництві, так і в рослинництві, що, за умови продуманої законодавчої бази та значних інвестицій, дає перспективи модернізації галузі в середньостроковому періоді. Ці технології базуються переважно на ефективному використанні ВДЕ в поєднанні з викопними енергоносіями, прикладами чого є використання електроенергії малих ГЕС, ефективних систем енергопостачання та вдосконалених технологій сушіння зерна на місцевих видах палива, застосування біодизелю чи використання геліоколекторів для нагрівання води; енергії вітру в поєднанні з енергією біомаси (що найчастіше є відходами) (рис. 2.16) (геліовітроенергетичних метаногенеруючих установок [10]) тощо, тобто для задоволення традиційних потреб у енергоресурсах новими способами. Використання ВДЕ в сільському господарстві має особливі перспективи в районах, де електрифікація та прокладання ЛЕП утруднене з фінансових та географічно-ландшафтних причин (наприклад, у гірських регіонах).

Крім використання енергії з відновлюваних джерел значну перспективу мають заміна застарілих котлів на сучасні котлоагрегати з більш високим ККД (до 93 %) та покращеними показниками емісії шкідливих речовин (з частковим задоволенням потреб у паливі за рахунок відходів рослинництва, а також використанням нових енергетичних культур). У тваринництві та птахівництві надзвичайно багатообіцяючим є використання енергоефективних систем мікроклімату, поїння та годування, підлог з обігрівом замість ламп обігріву, та глибокої підстилки, що дозволяє не опалювати приміщення за помірних морозів.

Здешевлення енергоносіїв та зменшення обсягів їх використання має вирішальне значення для будь-якого виду виробництва, оскільки 20 % зниження витрат на енергозабезпечення дорівнює в середньому 5 % збільшенню обсягів продажів, а витрати на паливно-мастильні матеріали у рослинництві складають 40 % від обсягу витрат матеріально-технічних ресурсів.

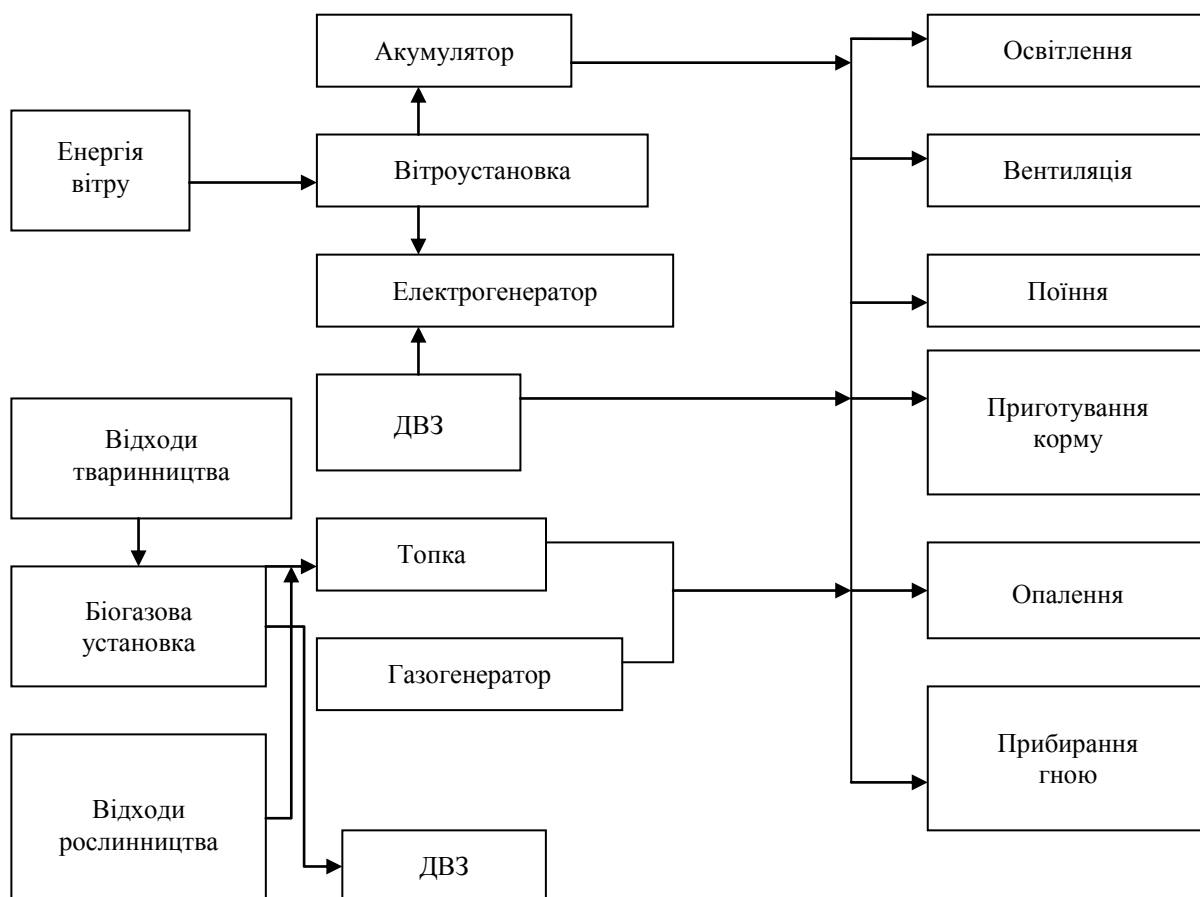


Рис. 2.16. Блок-схема енергопостачання об'єктів тваринництва з використанням енергії вітру та біомаси  
Джерело: [9, с. 815]

Енергію сонця можна використовувати для отримання теплової, електричної енергії, охолодження, вентиляції приміщень. Сонячні теплові колектори можна використовувати для висушування культур, опалення будинків, сараїв та теплиць. Сонячні водонагрівачі можуть забезпечити гарячу воду для потреб ферм, при доїнні корів тощо. Фотоелектричні елементи (сонячні електричні панелі) можуть працювати на фермах та дистанційних водяних насосах, світильниках та електричних парканах. Приклади впровадження таких установок саме у фермерських господарствах є: наприклад, у с. Іванівка Новоукраїнського району Кіровоградської області, де місцевий фермер встановив СЕС потужністю 1,331 МВт, а також тепловий насос для опалення приміщення в холодні пори роки та кондиціонування повітря влітку [17]. Найвні ініціативи з використання СЕС у бджолярстві, коли отримана електроенергія дозволяє просушувати пилок [13].

Прикладом задоволення частини енергетичних потреб за рахунок використання енергії сонця в Україні є геліоустановка для тепlopостачання чотирьохквартирного двоповерхового будинку у с. Пересадівка Миколаївської обл., яку було встановлено та випробувано ще у 1984 р. Загальна площа колекторів становить 28,8 м<sup>2</sup> [1]. В сільському господарстві можна використовувати через так звані геліоводомети – пристрої, що подають воду для напування тварин та птиці, на використання машин та установок на двигунах, на зрошування полів на основі використання води як охолоджувача а енергії сонця як нагрівача. Сонячна енергія накопичується у вакуумних теплових пастках [9, с. 613].

Енергія вітру може успішно застосовуватись не лише через встановлення невеликих вітроагрегатів для отримання електроенергії, якщо прокладання ЛЕП дороге чи взагалі не планується, а і шляхом комбінування її з іншими енергоносіями, наприклад шляхом використання середньопотужних вітродизельних електростанцій. Перші ВЕС в сільському господарстві України почали використовувати ще з 1960-х років для отримання електроенергії для сушіння зерна та для водопостачання; середня потужність установки була 4 кВт. Проте установки були технологічні недосконалі, і на фоні загальної централізації енергопостачання більшість з них було демонтовано, тож у 1987 р. економія палива за допомогою використання ВЕС в сільському господарстві становила лише 10 тис кВт-год. За сучасного рівня технологічного розвитку, цілком можливе встановлення турбін на полях та фермах, оскільки турбіни займають небагато місця, тож можливо вирощувати

сільгоспкультури або випасати худобу поблизу турбіни. Навіть невеликі турбіни можуть бути корисні в сільському господарстві, наприклад, для виробництва енергії для подрібнення кормів, викачування води [2] тощо. Цей напрям може поширитись в Україні по мірі розповсюдження енергетичних кооперативів, адже ця тенденція повністю відповідає 4 Енергетичному пакету ЄС.

Енергія біомаси використовувалась здавна, переважно шляхом прямого спалювання, проте ККД такого процесу є невисоким. Наразі арсенал використання технологій біомаси є значним, що передбачає суттєві позитивні зрушення характеристик роботи обладнання на біомасі як в плані збільшеного ККД, так і в плані екологічних критеріїв (утилізація відходів, зменшення викидів CO<sub>2</sub> тощо). Основними технологіями переробки біомаси є брикетування, гранулювання, газифікація, піроліз, пряме спалювання, анаеробне зброджування, виробництво моторного біопального (біоетанолу та біодизелю) першого та другого покоління, каталітичний риформінг з отриманням моторного біопалива. Брикетування та гранулювання дозволяють збільшити густину продуктів з біомаси порівняно з густиною насипної речовини. Термохімічну газифікацію біомаси доцільно використовувати з наступним використанням генераторного газу в теплових двигунах. Ця технологія ефективна для великих виробництв зі значними залишками біомаси (напр., цукрозаводи). Газифікація відходів деревини дозволяє отримати паливний газ, який можна використовувати як паливо в котельних, газових турбінах тощо (табл. 2.20).

Таблиця 2.20

**Ефективність електроустановок методом газифікації при роботі на біомасі**

Термодинамічний цикл	Потужність, МВт	ККД, %	Собівартість електроенергії, цент США/кВт-год.
Дизель	0,5 – 10	38 – 40	5 – 6
Газотурбінний	1 – 30	28 – 36	5,5 – 6,5
Парогазовий	20 – 150	42 – 49	4,5 – 5,5

*Джерело: [9, с. 405]*

В Україні останніми роками активно розвиваються енергетичні плантації, тобто вирощування спеціальних культур (міскантус, верба, евкаліпт, тополя, щавнат, просо прутувидне) для потреб біоенергетики. З цих культур роблять гранули, брикети та в подальшому використовуються для виробництва теплової та/або електричної енергії. Енергетичні культури можуть задовольнити 12 – 15 % попиту на первинну енергію в Україні [9]. У Вінницькій області планується щорічно закладати 200 га біоенергетичних плантацій [11].

Піроліз біомаси є способом термохімічної переробки біомаси шляхом термохімічного розкладання органічних сполук без доступу кисню при відносно низьких температурах (500 – 800 °С). Анаеробне зброджування – зброджування органічної речовини без доступу кисню з метою утилізації відходів рослинництва та тваринництва з отриманням біогазу та добрив. Біогаз містить 60 – 70 % метану та 30 – 40 % CO<sub>2</sub>. При тривалості обробки гною 3 дні вихід біогазу складає 4,5/1 л корисного об'єму реактора. Біогаз можна використовувати як для альтернативу природному газу для отримання теплової енергії, використовувати як моторне паливо для транспортних засобів (за умови подальшої доочистки), проте найбільш раціонально (в умовах України) використовувати в когенераційних установках для отримання електричної енергії за наявності “зеленого” тарифу. Біогаз може бути особливо ефективно використаним у сільській місцевості, якщо відсутнє централізоване енергопостачання, або за необхідності утилізації відходів тваринництва та стічних вод. Склад та фізико-хімічні властивості біогазу залежать від вихідної речовини, проте основними елементами біогазу є метан та діоксин вуглецю (табл. 2.21), однак видалення останнього технологічних складнощів не являє [7]. Залежно від хімічного складу сировини, вихід біогазу на 1 т органічної речовини складає 350 – 500 м<sup>3</sup> біогазу.

Таблиця 2.21

**Характеристики біогазу та природного газу як палива**

Вміст, %		Густина, кг/м <sup>3</sup>	Нижча теплотворна здатність, МДж/м <sup>3</sup>	Максимальна концентрація CO <sub>2</sub> в продуктах згорання, %
CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>			
Природний газ				
100	0	0,78	35,7	11,8
Біогаз				
70	30	0,32	25,1	15,9
60	40	0,15 – 0,30	21,5 – 23,0	18,2 – 16,0
50	50	0,10	18,0	20,8

*Джерело: [7, с. 297]*

Якщо біогазові установки експлуатуються у великих тваринницьких комплексах, вони можуть задовольняти до 70 % попиту на енергоносії. За теплою згорання 1 м<sup>3</sup> біогазу дорівнює 0,7 кг мазуту, 0,4 кг бензину, 0,6 кг керосину, 3,5 кг дров [9, с. 405]. Біогазові комплекси вже не є рідкісним явищем в Україні, їх наявно більше 20: такі комплекси є у Київській (“Українська молочна компанія”), Дніпропетровській (“Агро-Овен”, “Оріль Лідер”), Івано-Франківській (“Даноша”) та інших областях, проте темпи їх поширення поки що є недостатніми.

Значну перспективу являють інтегровані біопереробні заводи, розраховані на виробництво біологічних компонентів моторного біопалива, переробку широкого діапазону рослинної та тваринної сировини, з паралельною віддачею надлишкового тепла до теплиць, які доцільно будувати поблизу таких заводів. Так, у зимових теплицях енерговитрати складають 150 – 170 кг у.п./м<sup>2</sup>/рік, у весняних теплицях – 55 кг у.п./м<sup>2</sup>/рік [15], тож фактично безкоштовне тепло значно здешевить процес вирощування. Корисними виявились і геліосистеми в тепличних господарствах. Так, наявна геліотеpliersя площею 0,15 га та площею колекторів 40 м<sup>2</sup> у Київській області дозволяє економити до 0,2 т у.п. за сезон [9, с. 399]. Ще до 1995 р. АТ “Южстальмонтаж” було розроблено низку геліоустановок для потреб тваринництва (табл. 2.22).

*Таблиця 2.22*

**Характеристики геліоустановок для тваринництва**

Тип установки	Місце застосування	Площа геліоколектора, м <sup>2</sup>	Економія електроенергії, тис. кВт-год. (теплових)
Гаряче водопостачання	Тваринницький комплекс	236	28,3 т у.п.
Теплопостачання	Свинарник-маточник	130	Виробництво 30 – 35 тис. кВт-год. за квітень-жовтень
Пересувна	Літній доільний майданчик ферми	12	5 за сезон
Водонагрівальна	Тваринницька ферма	8	13,6 за сезон

*Джерело: [9, с. 400]*

Використання низькопотенційної теплоти довкілля, геотермального тепла має перспективи в сільському господарстві, наприклад, на молочно-тваринних фермах, де потрібно охолоджувати молоко (з 35 °С) та нагрівати воду для технологічних потреб. З 1986 по 1993 рр. в Україні впроваджено до 300 теплопомпових установок теплопродуктивністю 10 кВт для здійснення гарячого водопостачання. Залежно від температури теплоносія геотермальне тепло має широкий спектр застосування у сільському господарстві, а необхідна температура може бути у 30 – 50 разів нижчою за ту, що потрібна у енергетиці. Так, при температурі теплоносія 10 – 40 °С вигідно розводити рибу та обігрівати ґрунт, 30 – 80 °С – для потреб тепличних господарств, 30 – 60 °С – вирощування овочів та фруктів.

Цікавим та показовим прикладом, який певним чином комбінує деякі з описаних технологій, є вітчизняний проект “Енергоефективне село” [12] у с. Северинівка Вінницької обл. Проект профінансовано Міжнародною благодійною організацією “Фонд Східна Європа” та Координатором проектів ОБСЄ в Україні в рамках конкурсу проектів “Енергоефективність: місцеві партнерські ініціативи” [5]. Розмір благодійної допомоги склав 42 тис. дол. США. Проект почато у 2008 р., і дотепер він є своєрідним майданчиком, готовим надати консультації стосовно можливостей енергоощадливості та використання відновлюваних джерел енергії. Зокрема, використовуються чотири типи технологій: з енергії вітру у вітроводопідійомній установці для додавання та підйому води у системі водогону, виробництво біодизелю для комунальних транспортних засобів, використання біогазу для опалення дитсадка та технології піролізу, яка разом з енергією вітру дозволяє отримувати теплову та електричну енергію. Також для отримання теплової енергії в майбутньому на площі 7 соток насаджено енергетичну вербу, перший “урожай” якої було зібрано у 2012 р.

Найбільш перспективними новими енергетичними технологіями у сільському господарстві в середньостроковому періоді будуть такі:

- біогаз;
- когенераційні установки;
- теплові насоси;
- геліовітроустановки для автономної енергогенерації та виробництва тепла;
- блок-станції на основі спалювання соломи та деревини.

З-поміж перспективних заходів можна визначити такі:

- введення багатозонної системи обліку спожитої електроенергії;
- першочергові заходи енергоощадності (теплоізоляція будівель та приміщень);
- введення нових будівельних норм з вимогами щодо теплоізоляції, вентиляції, приміщень тощо, активного впровадження відновлюваних джерел енергії для задоволення основних енергетичних потреб;
- зміни законодавства на користь обов’язкової утилізації відходів шляхом виробництва біогазу.

Деякі з цих технологій потребують значних капіталовкладень (табл. 2.23), проте в цілому вони вже є комерційно життєздатними, і, очікувано, будуть здешевлюватись по мірі подальшого поширення.

Таблиця 2.23

**Вартісні характеристики технологій ВДЕ в Україні, 2015 р.**

Технології	Електроенергія	
	Інвестиції, дол. США/кВт	Собівартість енергії, дол. США/кВт-год.
ТЕС на біомасі	3700	0,04
Малі ТЕС на біомасі	180 – 500	0,8
СЕС (фотовольтаїчні)	1300 – 1500	0,04
ВЕС	1650	0,09
Когенерація (біогаз)	600	0,2
Теплова енергія		
Когенерація	600	0,03
Геліоколектори	744 – 1268	0,03
Теплові насоси	600 – 800	0,06
Паливо для транспортних засобів		
Біодизель	0,06 дол. США/л	0,6 дол. США/л
Біоетанол	1,3 дол. США/л	0,8 дол. США/л
Біогаз	200 дол США/1000 м <sup>3</sup>	30 – 40 дол. США/1000 м <sup>3</sup>

*Джерело: розраховано автором за даними [7; 3; 4]*

Отже, перелічені вище перспективні технології сільського господарства не є особливо новими та високотехнологічними, а подекуди можна успішно використовувати розробки двадцяти-тридцятирічної давнини. Перешкодами впровадженню перспективних технологій є не лише незадовільне фінансове становище багатьох сільськогосподарських підприємств країни, а й відсутність відповідних інформаційних кампаній, які популяризували б певні технології та стимулювали попит на них. Разом з розширенням енергетичного машинобудування в Україні необхідні дослідження, які б оцінили вигоди від використання ВДЕ у сільському господарстві, а також обчислили відповідне скорочення викидів парникових газів та інших забруднюючих речовин.

### **2.11. Створення енергоефективних технологій очищення стічних вод з одночасним одержанням енергоносіїв в біопаливних елементах**

© Кузьмінський Є. В.

*д.х.н., професор, Національний технічний університет України  
“Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського”, м. Київ, Україна*

© Саблій Л. А.

*д.т.н., професор, Національний технічний університет України  
“Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського”, м. Київ, Україна*

© Щурська К. О.

*к.т.н., Національний технічний університет України  
“Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського”, м. Київ, Україна*

Виконані у 2009 – 2016 рр. на кафедрі екобіотехнології та біоенергетики Національного технічного університету України “Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського” НДР в рамках “Прикладних досліджень і розробок за напрямками науково-технічної діяльності вищих навчальних закладів та наукових установ” [4 – 6; 9; 18] присвячено теоретичному обґрунтуванню і експериментальному підтвердженню шляхів інтенсифікації процесу біологічного очищення стічних вод з високим вмістом органічних речовин різноманітного походження. Одним з центральних шляхів інтенсифікації біохімічних процесів є вирішення задачі підтримування в аеротенках сталої дози активного мулу.

Проте здійснити це на практиці почасти складно через необхідність збільшення подачі повітря для забезпечення гідробіонтів активного мулу киснем, перемішування мулової суміші зі стічною водою в споруді, погіршення процесу розділення концентрованих мулових сумішей у вторинних відстійниках. Зі збільшенням концентрації активного мулу понад 7 г/дм<sup>3</sup> його активність зменшується внаслідок збільшення в'язкості суспензії і, як результат, погіршення масообміну, спостерігається внутрішньовидова конкуренція мікроорганізмів і пригнічення життєдіяльності мікроорганізмів продуктами метаболізму. Для підвищення продуктивності біохімічної деструкції органічних речовин доцільно застосувати багатопроцесну і багатоступеневу технологію, в якій наявні різні по кисневому режиму процеси (анаеробний, аноксидний, аеробний) і їх багатоступеневий повтор в послідовних біореакторах [10; 11; 17].



Окрім того, абсолютно новим шляхом для виробництва відновлюваної енергії з одночасним очищенням стічних вод є біоелектрохімічний спосіб одержання енергоносіїв, який може бути реалізований в біопаливному елементі (БПЕ). В мікробних біопаливних елементах мікроорганізми окиснюють органічні речовини стічних вод і переносять електрони безпосередньо на анод. Бактерії, здатні до переносу електронів на електрод безпосередньо або через ендогенно виділені медіатори, включають цілу низку видів, зокрема *Geobacter*, *Shewanella*, *Pseudomonas* та ін. Електрони переносяться на катод, виконуючи при цьому корисну роботу, де вони з'єднуються з киснем і протонами з подальшим утворенням води [1; 8].

Біотехнології, що ґрунтуються на використанні БПЕ, є багатообіцяючими для виробництва електроенергії та водню зі стічних вод, так як вони дають змогу значно підвищити ефективність процесу в порівнянні з традиційними технологіями (наприклад, анаеробного зброджування). Перевагою одержання електричної енергії в БПЕ є те, що процес відбувається в одну стадію, в той час як традиційні технології виробництва електроенергії зі стічних вод передбачають щонайменше трьохстадійний процес: виробництво біогазу в анаеробному біологічному реакторі, очищення утвореного біогазу і його спалювання.

В напрацьованих і впроваджених у виробництво багатопроцесорних і багатоступеневих технологіях у кожному процесі і на кожному ступені біологічного очищення стічних вод відбувається розвиток специфічного біоценозу мікроорганізмів за рахунок автоселекції найбільш пристосованих до даних умов мікроорганізмів. В умовах проточного режиму в активному мулі відбувається відбір і видова перебудова біоценозу в умовах, які характерні для даної окремої стадії із певними характеристиками забруднень на вході і виході, і умовами перебування в споруді: температурою, рН, концентрацією кисню та ін. Неперервна зміна великого числа поколінь в популяції збільшує можливість її видової перебудови. При проточному культивуванні один вид досить швидко може бути замінений іншим, який хоча б трохи краще пристосований до росту в даних умовах. Такий відбір видів або автоселекція може суттєво змінити властивості біоценозу споруди [13; 15 – 17].

Аналіз досліджень і теоретичний розгляд показав, що на першому ступені аеротенка в змішаній культурі мікроорганізмів відбувається автоматичне виділення видів, які найбільш швидко ростуть, і відбір іде за максимальною швидкістю росту і окиснення, тоді як на другому ступені аеротенка загальна швидкість росту популяції не змінюється, а невелике збільшення концентрації біомаси відбувається за рахунок найбільш повної утилізації субстрату.

Отже, в двоступінчатому аеротенку на першому ступені автоселекція призводить до збільшення швидкості процесу, а на другому – до більш повного використання субстрату.

Теоретичні основи технології біологічного очищення стічних вод були відпрацьовані на прикладі стічних вод молокозаводів. Стічні води молокозаводів містять високі концентрації органічних речовин, що за показником ХСК становлять  $2400 \div 3000$  мг/дм<sup>3</sup>, які в основному включають сполуки, що легко біологічно розкладаються; високі концентрації азоту загального –  $60 \div 90$  мг/дм<sup>3</sup>, сульфатів –  $65$  мг/дм<sup>3</sup>, фосфору –  $16$  мг/дм<sup>3</sup>. На молокозаводах України не працюють або відсутні очисні споруди для попереднього (до норм скиду в каналізацію), чи повного (до норм скиду у водойму) очищення стічних вод.

Біотехнологія анаеробно-аеробного очищення стічних вод була реалізована на проточній установці, що включала анаеробні, аноксидні і аеробний біореактори. Розділення анаеробних, аноксидних і аеробного процесів на ступені дозволило створити умови для автоселекції біоценозу мікроорганізмів, що працює на даній ланці розщеплення високомолекулярних органічних сполук, а також перетворення неорганічних речовин, і використати трофічні зв'язки між мікроорганізмами біоценозу для зменшення кількості біомаси, яка утворюється в процесі очищення стічних вод. Використання анаеробного процесу на перших стадіях біологічного очищення дає змогу видалити основну кількість органічних забруднень, тим самим зменшити витрати повітря на  $\sim 50$  %, порівняно із початковою аеробною стадією. Невеликий енергетичний вихід анаеробних процесів призводить до досить низьких швидкостей росту і метаболізму мікроорганізмів, які для ефективного розкладення органічних речовин потребують суттєвого збільшення їх концентрації (утримання біомаси) у системі для інтенсифікації процесу очищення стічних вод.

В першому ступені анаеробного біореактора, в якому створені анаеробні умови і перемішування рециркуляційною водою за температури  $\sim 20$  °С, відбувається видалення основної частини органічних речовин (за ХСК), що біологічно розкладається за участю гетеротрофних мікроорганізмів: молочних білків, жирів, вуглеводів; сульфатів в результаті сульфатредукції внаслідок діяльності сульфатредукуючих бактерій з утворенням сірководню; органічних сполук азоту в результаті амоніфікації за участю бактерій-амоніфікаторів з утворенням аміаку.

В другому анаеробному біореакторі в анаеробних умовах при перемішуванні реакційного середовища рециркуляційною рідиною за температури  $20$  °С продовжується розщеплення органічних

речовин, що утворились в анаеробному біореакторі I ступеня, за участю мікроорганізмів-гетеротрофів: йдуть процеси амоніфікації білків з утворенням аміаку, розкладення органічних речовин до  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$  і  $\text{H}_2\text{O}$ . Утворюються гази:  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{H}_2$  та інші.

Наступним етапом було очищення стічної води в аноксидних біореакторах, послідовно влаштованих у два ступеня, з утворенням в них аноксидних умов за допомогою слабого аерування для перемішування рідини. Невеликі кількості кисню, що потрапляють в біореактор, використовують нітрифікуючі бактерії для окиснення амонію до нітритів. Наявність у середовищі одночасно амонію і нітритів сприяє розвитку автотрофних анамокс-бактерій, які окиснюють в аноксидних умовах амоній нітритами до  $\text{N}_2$ , беручи один атом азоту від амонію, а другий – з нітриту. Температура рідини в біореакторах  $20^\circ\text{C}$ . Метою аноксидного очищення стічних вод було видалення органічних речовин, що залишилися після анаеробного очищення за ХСК, сполук азоту, продуктів анаеробного розкладення високомолекулярних органічних речовин. Використання двох ступенів аноксидних біореакторів необхідне для найбільш повного видалення органічних речовин, сполук азоту та ін. зі стічних вод, а також і для зменшення біомаси мікроорганізмів, задіяних в очищенні.

В аеробному біореакторі завершується очищення стічних вод від органічних речовин та сполук азоту. В біоценозі біообростань майже не зустрічались Водо і сувійки. Присутні численні коловертки, що живляться бактеріями, дрібними джгутиковими, інфузоріями. Зустрічаються малощетинкові черви і нематоди, які видають детрит і мікроорганізмів.

Відпрацювання біотехнології очищення стічних вод молокозаводів проводилось на установці, схема якої представлена на рис. 2.17. Установа складалась з двох анаеробних, двох аноксидних і одного аеробного біореакторів, з'єднаних послідовно.

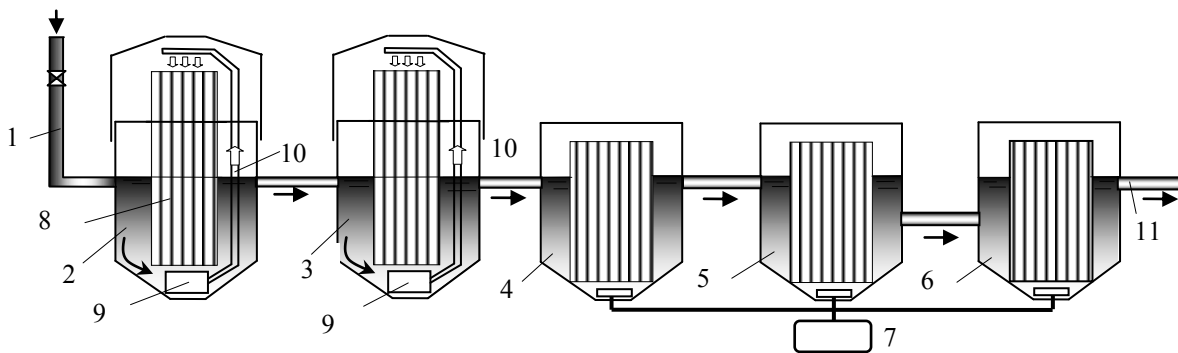


Рис. 2.17. Установа для дослідження біологічного очищення стічних вод:

1 – подача модельного розчину; 2, 3 – анаеробні біореактори відповідно I і II ступеня; 4, 5 – аноксидні біореактори I і II ступеня; 6 – аеробний біореактор; 7 – компресор; 8 – каркас з волокнами; 9 – насос; 10 – трубопровід для циркуляції води і зрошування волокон; 11 – трубопровід для відведення очищеної води

*Джерело: [17]*

Анаеробні біореактори влаштовані закритими, щоб уникнути доступу повітря, аноксидні і аеробний – відкриті. В анаеробних біореакторах за допомогою насосів, установлених в нижній частині, і рециркуляційного трубопроводу з отворами для розбрикування води, здійснювали перемішування реагуючих мас.

В аноксидні і аеробну секції подавали повітря за допомогою мікрокомпресора для підтримання концентрації розчиненого кисню в межах  $1,6 \div 2,5 \text{ г/м}^3$ . Аератори встановлені в нижній частині споруди для запобігання випадання в осад активного мулу і відторгненої біологічної плівки з носіїв. Витрата повітря –  $6 \text{ дм}^3/\text{хв}$ , тиск  $0,02 \text{ МПа}$ , компресор Atman (AT-A6500).

Обробку стічної води проводили в проточному режимі за кімнатної температури ( $20 \pm 3^\circ\text{C}$ ): витрата стоку становила  $285 \div 7775 \text{ см}^3/\text{добу}$ , гідравлічне навантаження –  $0,36 \div 9,9 \text{ м}^3/(\text{м}^3 \cdot \text{добу})$ . Для нарощування біомаси на початку роботи установки в біореактори вносили інокулят – активний мул з діючих очисних споруд Бортницької станції аерації міста Києва.

В анаеробних біореакторах загальна концентрація біомаси мікроорганізмів за сухою речовиною досягала  $15 \div 20 \text{ г/дм}^3$ , в аноксидних –  $4 \div 6 \text{ г/дм}^3$ , в аеробних –  $2 \div 3 \text{ г/дм}^3$ . Зольність біомаси становила в анаеробних біореакторах  $0,3$ , в аноксидному I ступеня –  $0,3$ , II ступеня –  $0,4$  в аеробному –  $0,5$ . Питому швидкість окиснення органічних речовин визначали в мг ХСК на 1 г беззольної речовини біомаси за годину. Гідробіологічний аналіз мікроорганізмів біоценозів, що утворювались в окремих біореакторах, проводили з використанням біологічного тринокулярного мікроскопа дослідницького класу з фото/відео виходом “XSP – 139TP” (виробництва компанії JNOEC) із збільшенням  $40x \div 1500x$ .

Результати досліджень показали, що при очищенні стічних вод від анаеробних до аноксидних і аеробного біореакторів відбувається зменшення концентрації біомаси: від  $15 \div 20 \text{ г/дм}^3$  в анаеробному біореакторі I ступеня,  $10 \div 15 \text{ г/дм}^3$  – в анаеробному II ступеня до  $3 \div 6 \text{ г/дм}^3$  в аноксидних і  $2 \div 3 \text{ г/дм}^3$  – в аеробному біореакторах. Найбільші концентрації іммобілізованих мікроорганізмів спостерігались в анаеробних умовах, де відбувалось розкладення великої кількості органічних речовин. Потрібно відзначити, що приріст біомаси в анаеробних біореакторах становив  $100 \div 150 \text{ мг}$  на  $1 \text{ г}$  органічних речовин за ХСК. В аноксидних і аеробному біореакторах приріст біомаси зменшувався до  $50 \div 30 \text{ мг}$  на  $1 \text{ г}$  органічних речовин за ХСК, що можна пояснити виїданням біомаси бактерій і дрібних джгутикових організмами вищих ланок трофічних ланцюгів гідробіоценозів, які присутні в цих спорудах.

Найменші значення питомої біомаси спостерігались для аноксидного біореактора I ступеня –  $0,6 \div 0,9 \text{ г}$  на  $1 \text{ г}$  носія, що можна пояснити великою кількістю носія (майже як в анаеробних біореакторах), але меншою кількістю органічних речовин, які переробляються в даному біореакторі.

Як показали результати досліджень, досягнуті в біореакторах величини концентрацій біомаси іммобілізованих на носіях мікроорганізмів і вільно плаваючого мулу дозволили одержати високий ступінь очищення стічних вод від органічних речовин і сполук азоту, забезпечуючи високі швидкості мінералізації органічних речовин, розщеплення органічних сполук азоту, а також високі деструктивні потужності споруд в анаеробних, аноксидних і аеробних умовах [17].

Гідробіоценоз аноксидних біореакторів. В біоценозі біореактора спостерігали велику кількість таких найпростіших та інших безхребетних. Багато дрібних безбарвних джгутикових роду *Vodo*: *Vodo caudatus*, *Vodo saltans*, *Vodo putrinus*. Джгутикові живляться розчиненими органічними речовинами, що надходять у тіло осмотичним шляхом (сапрозойне живлення), виїдають бактерій, завдяки чому сприяють інтенсифікації метаболізму у тієї частини бактерій, що залишилась у воді. Крім того, вони поглинають більш дрібних джгутиконосців і водорості. Поява в біоценозі аноксидних біореакторів великої кількості безбарвних джгутикових *Mastigofora* свідчить про перевантаження мулу за органічною речовиною, сполуками азоту, нестачу кисню, що характерне для аноксидних умов. Присутня велика кількість черепашкових амеб класу *Sarcodina* (тип *Sarcomastigofora*) з черепашками дископодібної форми – *Arcella discoides* і *Arcella vulgaris*. В аноксидному біореакторі II ступеня зустрічається багато залишених і деформованих черепашок. Зустрічається багато цист черепашкових кореніжок, що утворюються за несприятливих умов (зниження температури, нестача їжі та ін.). Основна їжа черепашкових амеб – бактерії, також дрібні водорості, дрібні найпростіші, наприклад, джгутикові та їх цисти.

В біоценозі спостерігали багато інфузорій (тип *Ciliophora*), – наявність війок хоча б на одній із стадій життєвого циклу і двох ядер. В очисних спорудах інфузорії, після бактерій, складають найбільш численну групу організмів біоценозу. Також спостерігали рівновійчастих інфузорій класу *Oligohymenofora* – вільноплаваючі форми: *Colpidium colpoda* і *Colpidium campulum*. Дуже багато було в обростаннях черевовійчастих інфузорій класу *Polyhymenophora*: *Aspidisca*: *Aspidisca costata*, *Aspidisca turrida*; *Stylonychia*: *Stylonychia pustulata*, *Euplotes*: *Euplotes sharon*. Спостерігали численних прикріплених коловійчастих інфузорій – сувійки (клас *Peritricha*): *Vorticella microstoma* і *Vorticella submicrostoma*. Ці види розвиваються в сильно забрудненому органічними речовинами середовищі, яке спостерігається в аноксидному біореакторі I ступеня. Численні інфузорії *Vorticella convallaria* спостерігались в аноксидному біореакторі II ступеня. Також зустрічали колоніальні форми перітрих: *Epistylis plicatilis* і *Opercularia*, наприклад, спостерігали *Opercularia glomerata*, яка прикріпилась до поверхні субстрату за допомогою стебла і мала понад 10 зооїдів. *Epistylis plicatilis* може мати до декількох десятків особин [17].

В біоценозі в аноксидному біореакторі II ступеня зустрічались коловертки (тип *Nemathelminthes*, клас *Rotifera*). Спостерігали вільноживучих круглих черв'як *Nematoda* (тип *Nemathelminthes*). В обростаннях спостерігали небагато малощетинкових черв'як *Oligochaeta* (тип *Annelida*). Спостерігали в біоценозі личинки мушки *Psychoda* у великій кількості в аноксидних умовах [17].

Гідробіоценоз аеробного біореактора. З найпростіших і інших безхребетних в гідробіоценозі біореактора зустрічали різноманітні інфузорії: черевовійчасті інфузорії *Aspidisca*, *Stylonychia*, *Euplotes* в невеликих кількостях; прикріплені коловійчасті інфузорії *Vorticella convallaria*, *Vorticella nebulifera*; колоніальні форми інфузорій *Epistylis plicatilis*, *Opercularia* в невеликих кількостях; хижі сисні інфузорії (сукторії): *Podophrya*, *Tokophrya* в невеликих кількостях [17].

Основні положення роботи впроваджено у навчальний процес зі спеціальності “Екологічна біотехнологія та біоенергетика”: при викладанні дисциплін “Біотехнології очищення води”, “Гідроекологія” та “Біологічні та хімічні сенсорні системи”.

Розроблена біотехнологія анаеробно-аеробного очищення стічної води з іммобілізованими на спеціальних носіях гідробіонтами впроваджена на ряді підприємств харчової, легкої промисловості та комунального господарства [7; 17].

Результати роботи використано при розробці проекту будівництва та реконструкції каналізаційних очисних споруд м. Дубно Рівненської області. Результати досліджень впроваджено в навчальний процес підготовки фахівців напряму 051401 “Біотехнологія” за програмою професійного спрямування 05140105 “Екологічна біотехнологія та біоенергетика” в дисциплінах: “Біотехнології очистки води”, “Гідробіологія”, “Екологія”.

Як уже зазначалось у вступі, абсолютно новим трендом для виробництва відновлюваної енергії з одночасним очищенням стічних вод є біоелектрохімічний спосіб одержання енергоносіїв, який може бути реалізований в мікробному біопаливному елементі (БПЕ) [1; 2; 8].

БПЕ – це гальванічний елемент, що поєднує процес окиснення органічних речовин на “біологічному” аноді з процесом відновлення акцептора електронів на катоді. Для забезпечення виробництва електроенергії цей акцептор електронів має бути відновлений при більш високому електродному потенціалі, ніж у біоанода. Для сталого виробництва електроенергії зі стічних вод ідеальним кінцевим акцептором електронів є кисень повітря.

Біопаливні елементи здатні вирішувати окрім енергетичних і екологічні проблеми утилізації відходів, оскільки мікроорганізми мають здатність адаптуватись до навколишнього середовища. Оскільки необхідною умовою життєдіяльності усіх мікроорганізмів є водне середовище, то стоки, які містять органічні забруднення, являються найбільш привабливим об’єктом для впровадження задекларованого підходу. Нагальна потреба утилізації та раціонального використання відходів органічного походження, а також інтенсивний пошук альтернативних джерел енергії, є важливим стимулом до широкомасштабних досліджень у галузі БПЕ. Особливо необхідно наголосити, що їх окупність буде визначатись не тільки напрацьованою електроенергією, але й витратами за очищення стоків. Так, наприклад, професор Brus E. Logan з Пенсільванського університету впевнений, що масштабне використання БПЕ для очищення стічних вод з одночасним отриманням електричної енергії дозволить США щорічно економити близько 25 млрд. дол. США.

Отже, стічні води з високою концентрацією органічних сполук є постійно “відновлюваним ресурсом” для одержання електричної енергії чи газоподібного водню [1; 8].

Окрім того, виділені в процесі окиснення органічних сполук протони і електрони можна рекомбінувати в молекулярний водень. Для цього необхідно створити повністю анаеробні умови в БПЕ та прикласти додаткову напругу на катод, адже підвищення катодного потенціалу в електричному колі БПЕ уможливує безпосереднє продукування водню з протонів та електронів, що виробляються бактеріями. Така модифікація традиційного БПЕ значно знижує енергетичні потреби для виробництва водню з органічних речовин, порівняно з виробництвом водню з води шляхом електролізу [2].

Зазвичай БПЕ складається з двох напівелементів – анодного та катодного. Анод, як правило, виготовляється з електропровідного та біологічно сумісного матеріалу. Найчастіше використовують графітове волокно, графітовий папір, гранульований графіт, вуглецеві йоржі, графітову піну тощо. Катод звичайно виготовляється з графіту з додаванням платини в якості каталізатора. У найпоширенішій конфігурації БПЕ катіонообмінна мембрана відокремлює його напівелементи. Ця катіонообмінна мембрана забезпечує перенесення протонів з анодної камери в катодну для збереження електронейтральності в системі. Для того, щоб досягти катода, електрони мають пройти зовнішнім електричним колом і виконати корисну роботу.

На аноді БПЕ розчинені органічні сполуки зі стічних вод окиснюються електрохімічно активними мікроорганізмами, які передають електрони на анод за механізмом позаклітинного перенесення електронів. Потім електрони, як уже відмічалось, через зовнішнє електричне коло переносяться до катода, де вони витрачаються в реакції відновлення кисню [1; 8].

Використання БПЕ в системах очищення води передбачає розташування БПЕ-біореактора в технологічній схемі очищення стічних вод. Базуючись на аналізі отриманих даних, можна дійти висновку, що БПЕ раціонально розташовувати після етапу анаеробного очищення і перед етапом аеробного біологічного очищення. Отже, наприклад, технологічна лінія очищення стічних вод підприємств харчової промисловості (наприклад, стічні води виробництва солоду) з продукуванням електричної енергії в мікробному паливному елементі (рис. 2.18) включає наступні етапи: стічні води усереднюються у приймальному резервуарі, проходять механічне очищення від крупних домішок на решітках та пісковловлювачах [7; 18].

Надалі, здійснюється механічне видалення завислих речовин у первинному відстійнику та анаеробне біологічне очищення у біореакторі з продукуванням біогазу. Біомаса неприкріплених анаеробних бактерій та метаногенів відділяється у вторинному відстійнику. Стічні води направляються на очищення у БПЕ-біореактор з поєднаним генеруванням електричної енергії, а потім на відстоювання у вторинному відстійнику. Надалі стічна вода проходить аеробне очищення у аеротенку з подальшим відстоюванням у третинному відстійнику з камерою утворення пластівців. Механічне доочищення води здійснюється у каркасно-засипних фільтрах з подальшим знезараженням.

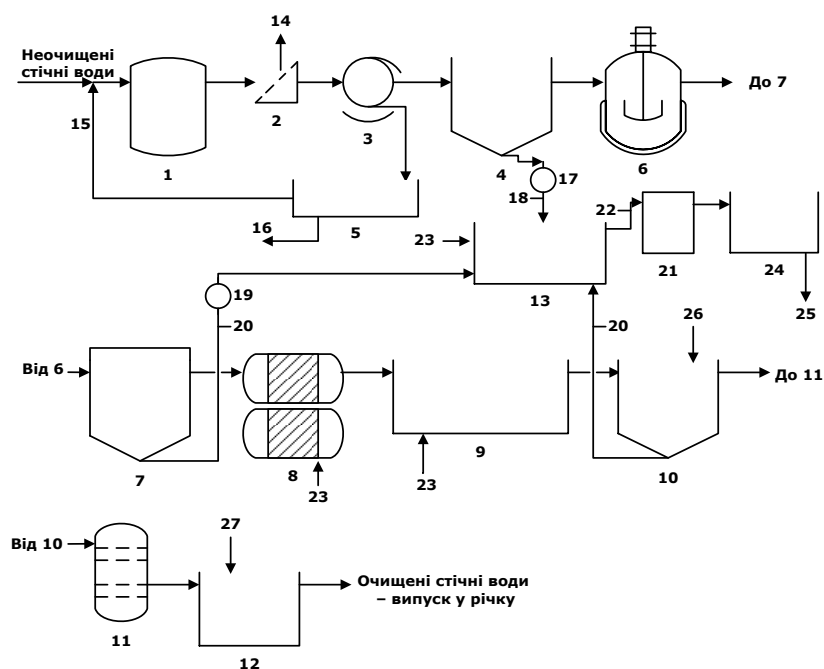


Рис. 2.18. Схема технологічної лінії очищення стічних вод підприємств харчової промисловості з продукуванням електричної енергії в БПЕ:

1 – приймальний резервуар; 2 – решітки-дробарки; 3 – пісковловлювачі; 4 – первинні відстійники; 5 – анаеробні біореактори; 7 – вторинні відстійники; 8 – БПЕ-біореактор; 9 – аеротенк; 10 – третинні відстійники; 11 – фільтри для доочищення; 12 – контактний резервуар; 13 – аеробний стабілізатор; 14 – відходи, затримані на решітках-дробарках (на вивезення); 15 – дренажна вода піскових майданчиків; 16 – пісок на вивезення; 17 – насосна станція для перекачування осаду; 18 – осад первинних відстійників; 19 – муловий насос; 20 – надлишковий активний мул; 21 – цех механічного зневоднення; 22 – аеробно стабілізована суміш активного мулу і осаду; 23 – повітря; 24 – майданчики для зберігання зневодненого осаду; 25 – осад на вивезення; 26 – розчин коагулянту; 27 – хлорвмісний розчин

Джерело: [18]

Для розробки технологічної схеми генерування електричної енергії з використанням стічних вод необхідно обґрунтувати технологічні параметри: значення ХСК вхідного потоку, температури та водневого показника, режим культивування (за періодичного – тривалість періоду або безперервного – гідравлічне навантаження на БПЕ – біореактор).

Результати досліджень дозволяють стверджувати, що на характеристики БПЕ впливають матеріал та площа поверхні анода, на якій формується плівка електроактивних мікроорганізмів, умови формування шару мікроорганізмів на електроді, відстань між анодом та катодом, якість протонпровідної мембрани, що розділяє анод та катод, концентрація та склад поживних речовин у стічній воді.

Встановлено, що конструкції БПЕ, в яких застосована проточна система подачі субстрату, показують стабільні характеристики протягом тривалого часу. Потужність збільшується до 30 % в залежності від умов перебігу процесу, а саме складу і концентрації субстрату та масообмінних характеристик. Доведено, що застосування в БПЕ протонпроникної мембрани замість сольового містка збільшує потужність у 5 ÷ 8 разів за рахунок зменшення омичних втрат на опір мембрани та зменшення відстані між електродами.

Показано, що потужність БПЕ залежить від умов формування анодної біоплівки, яка містить як електрогенні мікроорганізми, так і мікроорганізми-деструктори водних забруднень. При цьому застосування угруповань мікроорганізмів покращує характеристики БПЕ, можливо, за рахунок створення міжклітинного зв'язку під дією метаболітів та набутої здатності до перенесення електронів. Для початкового формування біоплівки краще брати мул з донних відкладень. Запропонований спосіб формування біоплівки під дією електричного поля призводить до підвищення потужності на 15 ÷ 20 % за рахунок утворення більш рівномірного та щільного шару мікроорганізмів, покращеної адсорбції до анодної поверхні, а також внаслідок усунення ряду конкуруючих мікроорганізмів, наприклад, метаногенів [12]. Показано, що одночасно з одержаною електричною енергією відбувається очищення стічної води. За загальноприйнятих умов знаходження стічної води в аеробних реакторах (10 год.) якість очищення стічної води в БПЕ складає 60 ÷ 70 %.

Запропоновано конструкцію БПЕ, в якому в одному анодному просторі міститься декілька катодних відділень. Це дає змогу в одному БПЕ одержувати задану напругу та силу струму [14].

Біотехнологічне отримання водню можливе також за використання процесів анаеробного зброджування стічних вод воденьпродукуючими бактеріями. При цьому продуктами таких реакцій є низькомолекулярні органічні кислоти та спирти. Такі сполуки не можуть бути використані цими бактеріями для подальшого синтезу водню, тому постає проблема утилізації таких органічних кислот. Ефективним процесом перетворення органічних сполук, що є відходом такого процесу, може бути біоелектрохімічний спосіб отримання водню в БПЕ.

Для дослідження було обрано стічні води пивоварного заводу, які попередньо були використані як поживне середовище для воденьпродукуючих бактерій в двох анаеробних реакторах. За допомогою мас-спектрофотометрії було встановлено склад стічної води після процесів ферментації. Основну масу органічних сполук становили:  $45 \div 56\%$  оцтової кислоти,  $5 \div 10\%$  етанолу,  $15 \div 25\%$  бутиратної кислоти,  $3 \div 5\%$  пропіонової кислоти,  $1 \div 3\%$  молочної кислоти. Описані сполуки можуть бути основним компонентом поживного середовища для екзоелектрогенів БПЕ.

Біоелектрохімічний процес був другою стадією анаеробної обробки стічних вод пивзаводу. Протягом першої години експерименту відбувалося найінтенсивніше виділення водню –  $58 \text{ см}^3$ . При подальшому культивуванні об'єм водню був значно меншим. При цьому відбувалося зменшення ХСК стічної води. Протягом перших 4-х годин зброджування субстрату у реакторі відбувається зниження цього показника від  $800 \text{ мг/дм}^3$  до  $380 \text{ мг/дм}^3$ . При цьому максимальна ефективність перетворення органічних сполук у водень ( $0,02 \text{ г H}_2/\text{г ХСК}$ ) спостерігається у першу годину експерименту.

Отримані результати показують можливість ефективної мікробної мінералізації органічних сполук – ХСК зменшується на  $62\%$ . При цьому найбільшій ефективності виділення водню можна досягнути протягом першої години культивування. Це можна пояснити тим, що основу розчину складають низькомолекулярні органічні кислоти та спирти, які на цій початковій стадії легко засвоюються мікроорганізмами біоплівки. При подальшому культивуванні зниження ХСК відбувається за незначного виділення водню [3].

Отримані результати свідчать про можливість використання біоелектрохімічного способу продукування водню в якості доочищення стічних вод під час анаеробної ферментації.

Ефективність зниження ХСК в стічних водах солодового заводу при біоелектрохімічному продукуванні водню було проведено за використання модельного розчину зі значенням ХСК  $2500 \text{ мг O}_2/\text{дм}^3$ . Максимальний об'єм виділеного водню спостерігався на 4-у добу культивування. В подальшому добовий об'єм водню зменшувався. Встановлено, що за 10 діб відбувається зменшення значення ХСК стічної води від початкового значення до  $90\%$ . При цьому інтенсивність продукування водню зростала протягом перших чотирьох діб до значення  $0,01 \text{ мг H}_2/\text{г ХСК}$ , після чого зменшувалася і на останню добу експерименту становила  $0,001 \text{ мг H}_2/\text{г ХСК}$ .

За отриманими результатами можна припустити, що на початку експерименту відбувалося споживання органічних сполук не лише екзоелектрогенними мікроорганізмами, а й бактеріями-деструкторами біополімерів, які присутні у біоплівці. Після розкладу більшості полімерних сполук поживного середовища утворені мономери були використані екзоелектрогенами, що призвело до збільшення об'єму виділеного водню. Отримані результати надають можливість заключити, що БПЕ може бути використаний в анаеробно-аеробній біотехнології очищення стічних вод.

Дослідження можливості влаштування стадії біоелектрохімічного процесу синтезу водню проводилися при використанні розробленої на кафедрі екобіотехнології та біоенергетики технології багатоступеневого анаеробно-аеробного очищення висококонцентрованих промислових стічних вод з використанням іммобілізованих мікроорганізмів.

Максимальну ефективність БПЕ демонстрував протягом  $5 \div 9$  доби експерименту. В даному випадку найбільшу ефективність було отримано при значенні ХСК  $350 \div 950 \text{ мг/дм}^3$ . Можна зробити висновок, що високі значення ХСК стічних вод, а також наявність кисню у середовищі на початку культивування інгібують метаболізм екзоелектрогенів. Тому влаштовувати БПЕ в технологічні схеми очищення стічних вод з високими показниками ХСК (наприклад, підприємств харчової промисловості) необхідно після попередньої механічної обробки, наприклад у первинному відстійнику, чи за попереднього біологічного очищення, що забезпечить зменшення ХСК стічних вод до необхідного значення. Зважаючи на інгібуючий вплив кисню на метаболізм екзоелектрогенів, попередню біологічну обробку необхідно проводити в анаеробному біореакторі. Для очищення побутових стічних вод, ХСК яких коливається в діапазоні  $150 \div 600 \text{ мг/дм}^3$ , попередньою стадією очищення можна знехтувати.

Враховуючи ці рекомендації ми розробили принципову технологічну схему очищення стічних вод солодового заводу з отриманням водню в БПЕ, яка включає механічне очищення стічних вод, біологічне очищення в анаеробно-аеробних біореакторах, біоелектрохімічне продукування водню, доочищення та знезараження води перед відведенням її у річку [9].

Отже, використання в технології ступеневих біореакторів дає змогу витримувати великі коливання витрат стічних вод і концентрацій забруднень на вході і забезпечує стабільність їх роботи. В спорудах зменшується небезпека порушення процесу при залповому надходженні токсичних забруднень.

В умовах багатоступеневого біологічного очищення стічних вод в біореакторах кожного ступеня було забезпечене утворення специфічних гідробіоценозів, характерних для даного ступеня, з певними концентраціями і фізико-хімічними властивостями органічних і неорганічних речовин, які поступають в кожну споруду, а також з відповідними кисневими умовами для перебігу процесу очищення, що забезпечило високу ефективність очищення стічних вод за напрацьованою біотехнологією.

Використання запропонованої біотехнології дозволить зменшити витрати повітря, а відтак і електроенергії, приріст мулу (до 30 %), завдяки застосуванню на перших ступенях очищення анаеробного процесу.

В аноксидних і аеробному біореакторах знижується ймовірність спухання вільно плаваючого активного мулу, що характерне для традиційних аеротенків очисних станцій (міських стічних вод), адже нитчасті бактерії, які спричинюють це явище, добре закріплюються на носіях і не потрапляють у вторинні відстійники. Це забезпечує більш високу якість очищеної води і дозволяє значно збільшити концентрацію іммобілізованої біомаси.

Завдяки використанню носіїв з іммобілізованими мікроорганізмами в аноксидних і аеробних біореакторах досягається висока деструктивна потужність, що дозволяє зменшити їх розміри в 5 ÷ 10 разів, порівняно з класичними аеротенками. Компактність біореакторів дає змогу зменшити площу споруд, порівняно з класичними спорудами, і знизити витрати на їх будівництво.

Доведено можливість використання стічних вод пивоварного заводу, які були попередньо оброблені в анаеробних умовах воденьпродукуючими бактеріями, як поживного середовища для екзоелектрогенів в БЕХС. При цьому максимальна ефективність перетворення органічних сполук спостерігається на початку культивування і становить 0,02 г H<sub>2</sub>/г ХСК, а ХСК стічних вод в процесі обробки в БПЕ зменшується на 45 ÷ 55 %.

Експериментально встановлено, що в лабораторних умовах при біоелектрохімічному продукуванні водню зі стічних вод солодового заводу відбувається зменшення значення ХСК стічної води від початкового значення до 90 % при максимальній інтенсивності продукування водню 0,01 мг H<sub>2</sub>/мг ХСК.

Досліджено вплив основних технологічних параметрів отримання електричної енергії в БПЕ та визначено, що раціональними значеннями параметрів є ХСК – 0,6 ÷ 0,8 г/дм<sup>3</sup>, температура – 30 ÷ 35°C, водневий показник – 7 ÷ 8, режим культивування – періодичний (тривалість періоду 6 ÷ 8 діб) або безперервний (гідравлічне навантаження на БПЕ-біореактор 1,1 ÷ 1,3 м<sup>3</sup>/(м<sup>3</sup>·добу).

Експериментально-виробничі дослідження біоелектрохімічного продукування водню з одночасним очищенням стічних вод солодового заводу дозволили визначити місце розташування БПЕ в системі анаеробно-аеробних біореакторів. Максимальна ефективність БПЕ досягається на 5 ÷ 9 добу експерименту, коли значення ХСК стічної води досягає 350 ÷ 950 мг/дм<sup>3</sup>. Високі значення ХСК стічних вод, а також наявність кисню у середовищі на початку культивування інгібують метаболізм екзоелектрогенів. Тому влаштувати БПЕ в технологічній схемі очищення стічних вод з високими показниками ХСК необхідно після попереднього механічного та (чи) біологічного очищення. Зважаючи на інгібуючий вплив кисню на метаболізм екзоелектрогенів, попередню біологічну обробку необхідно проводити в анаеробному біореакторі.

Було запропоновано технологічну схему очищення стічних вод солодового заводу з отриманням водню в БПЕ, що забезпечує високу якість очищених стічних вод і дозволяє отримати газову суміш із високим вмістом водню при низьких енергетичних витратах.

## 2.12. Біогаз: основні властивості, стан та перспектива виробництва біогазу

© Гавриш В. І.

*д.е.н., професор, Миколаївський національний аграрний університет, м. Миколаїв, Україна*

© Ніценко В. С.

*д.е.н., доцент, Одеський національний університет ім. І. І. Мечникова, м. Одеса, Україна*

© Ільїн В. Ю.

*д.е.н., доцент, Київський національний економічний університет ім. Вадима Гетьмана, м. Київ, Україна*

До газоподібних вуглеводневих палив, які досить широко застосовуються нині і мають перспективи розширення їх використання, відносяться: компримований (стиснений) природний газ (метан); газ зріджений нафтовий (пропан-бутанові суміші). Інший вид газоподібного палива – біогаз, доки не знайшов комерційного застосування в Україні, хоча його використання у світі постійно збільшується.

Учені багатьох країн вивчають можливість використання величезного енергетичного потенціалу біомаси, у тому числі відходів сільськогосподарського виробництва. Найпоширеніший спосіб одержання

енергії з біомаси – анаеробне (без доступу кисню) бродіння відходів сільськогосподарського виробництва (гною, рослинних залишків, сміття, стічних вод тощо). Продукти, що виходять у результаті цього процесу – біогаз і напіврідка маса, яка являє собою цінне органічне добриво. У ряді країн (Німеччина, Великобританія, Швеція, США, Нідерланди, КНР й ін.) практично вирішено питання одержання й використання біогазу як пального двигунів внутрішнього згоряння стаціонарних енергетичних установок та мобільних енергетичних засобів. Інтерес до використання біогазу і як пального ДВЗ, зумовлений його високою теплотворною здатністю (17 ... 25 МДж/м<sup>3</sup>).

Склад та фізико-хімічні показники біогазу залежать від первинної сировини та технології його виробництва. За даними ознаками можна визначити три групи способів видобування біогазу: видобування біогазу на звалищах та полігонах твердих та побутових відходів; виробництво біогазу з біоенергетичної сировини, відходів тваринництва та рослинництва; виробництво біогазу з осадів промислових та комунальних каналізаційних очисних споруд.

До складу звалищного біогазу входять: метан – 40 ... 60 %; вуглекислий газ – 30 – 45 %; азот та інші домішки – 2 ... 5 %. Теплота згоряння – 17 ... 20 МДж/м<sup>3</sup>.

Біогаз з відходів тваринництва складається в основному з метану та двооксиду вуглецю з невеликими домішками сірководню, азоту та водню (60 ... 70 % метану, 30 ... 40 % – вуглекислого газу, 1 % – сірководню, до 1 % азоту та водню) та являє собою горючий продукт з нижчою теплотою згоряння – 21 ... 25 МДж/м<sup>3</sup> (табл. 2.24).

Таблиця 2.24

**Фізичні властивості біогазу та його компонентів**

Найменування показника	Складові біогазу				Біогаз (60 % CH <sub>4</sub> та 40 % CO <sub>2</sub> )
	Метан, CH <sub>4</sub>	Двоокис вуглецю, CO <sub>2</sub>	Водень, H <sub>2</sub>	Сірководень, H <sub>2</sub> S	
Об'ємна частка, %	55 – 70	27 – 44	1	3	100
Нижча теплота згоряння, МДж/м <sup>3</sup>	35,8	–	110	22,3	17 – 23
Температура запалення, °С	650-950	–	585	–	650 – 950
Критичний тиск, МПа	4,7	7,5 – 304	1,3	89	7,5 – 8,9
Критична температура, °С	– 82	+ 31	– 239,9	+ 100	190,5
Нормальна щільність (0 °С), кг/м <sup>3</sup>	0,72	1,977	0,0899	1,521	1,2
Критична щільність, гр/см <sup>3</sup>	162	460	31	–	320
Відносна щільність (до повітря)	0,55	2,5	0,069	1,2	0,83

*Джерело: узагальнено авторами*

Основні причини підвищення інтересу до використання біогазу: екологічні (зменшення викидів токсичних компонентів); економічна (більш менша ціна палива) та той чинник, що це відновлювальне джерело енергії. Викиди двооксиду вуглецю за використання різних видів палив наведено на рис. 2.19.

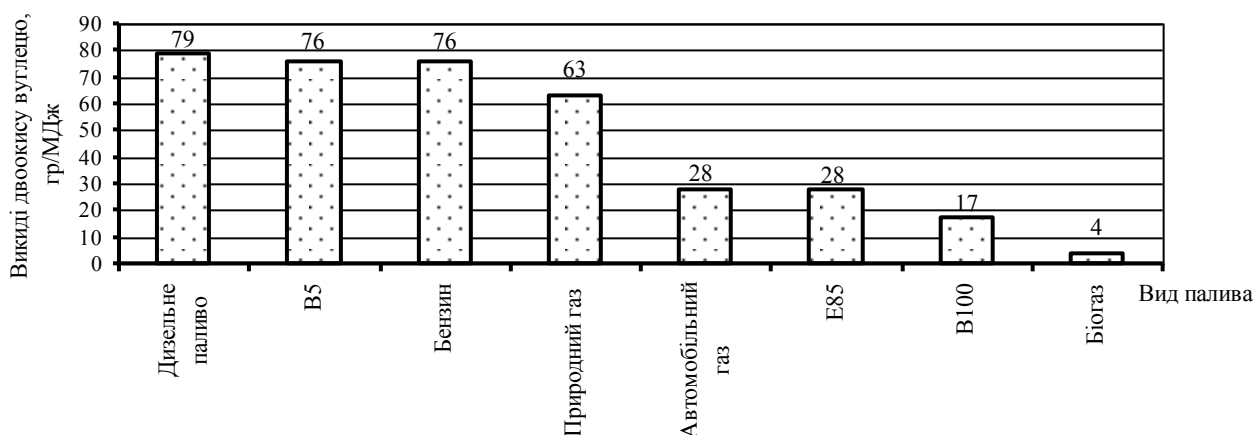


Рис. 2.19. Викиди двооксиду вуглецю різними паливами

*Джерело: розрахунки авторів*

Загалом у країнах ЄС виробляють щорічно біогазу приблизно еквівалентно 4970 кілотонн нафтового еквіваленту (ктне), що становить 8 % від моторного палива, яке використовує транспорт. Виробництво біогазу у деяких країнах Європейського Союзу (табл. 2.25 та рис. 2.20) [17].



Таблиця 2.25

**Виробництво біогазу у деяких країнах Європи, 2016 р.**

Країна	Виробництво біогазу, ктне
Великобританія	2252
Німеччина	7854
Італія	1872
Франція	539
Іспанія	441
Швеція	167
Нідерланди	327
Польща	229
Данія	152

Джерело: [17]

Розглянемо структуру біогазових установок (БГУ) в деяких країнах ЄС найбільших виробників біогазу (табл. 2.26) та обсяги його річного виробництва (табл. 2.27).

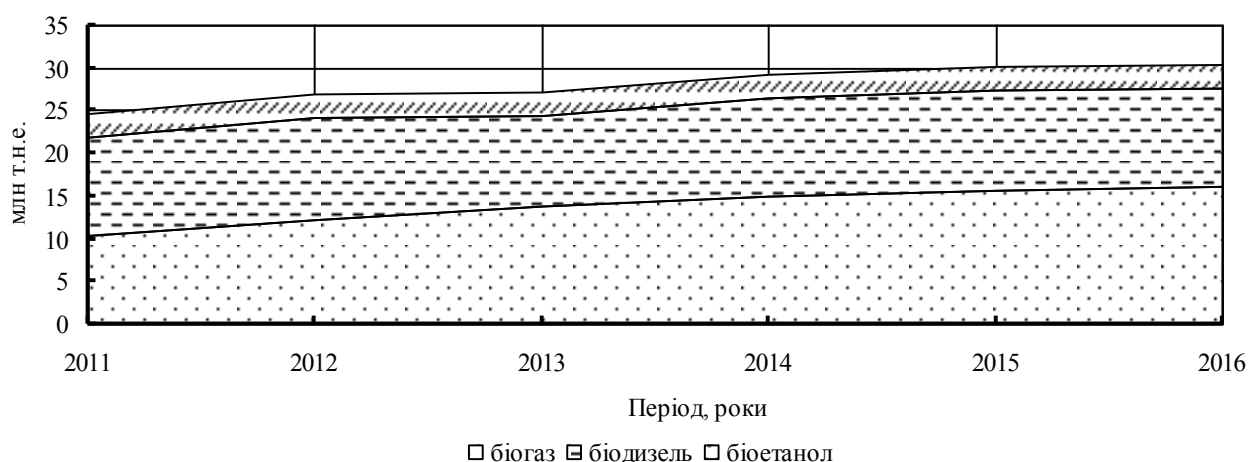


Рис. 2.20. Динаміка виробництва біопалив у країнах ЄС, 2011 – 2016 рр.

Джерело: адаптовано на основі [17]

Таблиця 2.26

**Кількість біогазових установок за типами, 2016 р.**

Категорія БГУ	Країна				
	Великобританія	Німеччина	Італія	Швеція	Польща
Полігон ТПВ	365	182	135 (150)	72	19 – 33
Каналізаційні стоки	200 (90)	≈ 925	4	135	35 – 51
Промислові каналізаційні стоки	26	91	36	8	–
Централізовані БГУ	3	52	8	15	2
БГУ фермерських господарств	3	≈ 3500	67	6	10 – 15
Всього	487 – 597	≈ 4750	252 – 267	236	66

Джерело: [17]

Отже, частка біогазу, який виробляється з відходів тваринництва та рослинної енергетичної сировини становить: Німеччина – 40,86; Італія – 11,16 %; Швеція – 8,62 %; Польща – 0,6 %.

Таблиця 2.27

**Річне виробництво біогазу в БГУ за типами, 2016 р., ктне**

Категорія БГУ	Країна				
	Великобританія	Німеччина	Італія	Швеція	Польща
Полігон ТПВ	1617,6	573,2	334,1	43,8	25,1
Каналізаційні стоки	165	369,8	0,4	69,7	25,3
Промислові каналізаційні стоки					–
Централізовані БГУ	–	651,4	42	10,2	0,3
БГУ фермерських господарств	–			0,5	
Всього	1782	1594,4	376,5	124,2	50,7

Джерело: [17]

Для порівняння, загальний обсяг використання рідких біопалив в країнах ЄС становить, ктне: біодизель – 2845,8; біоетанол – 456,7. Тобто, серед біопалив (рідких та газоподібних) найбільша частка припадає на біогаз, ділі йдуть біодизель та біоетанол. Наведемо дані про використання альтернативних рідких біопалив у деяких країнах ЄС (табл. 2.28) [17].

Таблиця 2.28

**Використання біопалив в ЄС, 2016 р.**

Країна	Біодизель, млн. л	Біодизель, ктне	Етанол, млн. л	Етанол, ктне
Великобританія	1020	918	960	485
Німеччина	2467	2220	1485	750
Франція	3272	29445	825	417
Італія	1320	1188	285	144
Іспанія	1460	1314	253	128
Швеція	1020	918	230	116
Польща	740	666	330	167

Джерело: [17]

Багатим досвідом у біогазових технологіях володіє КНР. Тут щорічно виробляється до 15,4 млрд. м<sup>3</sup> біогазу. Станом на 2010 р., 40 млн. китайських домогосподарств використовували біогазові установки.

У Китаї експлуатуються і великі біогазові установки. Так, сільськогосподарські підприємства налічують 4700 БГУ та ще 1600 використовують органічні відходи стічних вод. Щорічно вони виробляють 4 млрд. м<sup>3</sup> біогазу.

Загалом Китай споживає приблизно 100 млрд. м<sup>3</sup> природного газу, тобто частка біогазу по тепловій енергії становить приблизно 9,6 %.

У Китаї експлуатується найбільший у світі біогазовий завод (Biogas plant of TianguanGroup in Nanyang in Nanyang, Henan) потужністю 500 тис. м<sup>3</sup> на добу [2].

Проводяться роботи з виробництва біогазу і в США. Згідно інформації американської біогазової ради, у цій країні налічується така кількість БГУ: фермерські господарства – 1921; муніципальні стічні води – 1238; полігони ТПВ – 5943. Існує великий потенціал для їх збільшення. Перспективними є 8200 тваринницьких ферм, 4000 місць обробки стічних вод та 540 полігонів ТПВ [3].

В Україні проводяться роботи з біогазових технологій ще з часів СРСР. Однак досягнення у практичній площині значно скромніші ніж у країнах ЄС.

Сьогодні в Україні ресурси біогазу з відходів тваринництва не можна розглядати як суттєві з огляду на занепад тваринництва. Цей вид палива може мати значення лише для окремих господарств. Сучасні ресурси біогазу з відходів тваринництва, які розраховані на підставі статистичних даних не перевищують 300 ктне.

Щорічно у країні утворюється велика кількість (майже 6 млн. т) органічних відходів різного походження: побутового, комерційного, промислового та сільськогосподарського. Близько 90 % їх збирається та вивозиться на звалища. За цих умов потенціал газу з полігонів ТПВ становить до 30 млн. м<sup>3</sup>/рік. Енергетичний потенціал біогазу – 18 млн. м<sup>3</sup> природного газу або 14 тис. т дизельного палива, або 0,7 % його річної потреби. Звалищ ний газ доцільно використовувати тільки тим підприємствам, які знаходяться біля полігонів твердих побутових відходів.

Потенціал виробництва біогазу в Україні сягає 4 млн. т у.п. або 2800 ктне (табл. 2.29). Тому перспективи розвитку будівництва БГУ цілком реальні з огляду на забезпеченість сировиною [4].

Таблиця 2.29

**Оцінка потенціалу виробництва біогазу в Україні, 2016 р.**

Тип підприємства	Основні види відходів	Вміст сухих речовин, %	Потенціал виробництва біогазу, тис. тонн у.п./рік
Ферми ВРХ	Гній	10 – 12	719
Свиноферми	Гній	7 – 10	180
Птахофабрики	Послід	25 – 30	326
Пивоварні заводи	Дробина пивна	20 – 25	171
Цукрові заводи	Жом буряковий	10 – 12	216
Спиртові заводи	Барда	6 – 8	180
Молокозаводи	Сироватка	6 – 7	90
Комунальні стоки	Стічні води	0,5	130
Полігони твердих побутових відходів	Тверді побутові відходи	50	400
Енергетичні плантації	Силос	20 – 35	1610
Всього	–	–	4022

Джерело: [4]

В Україні біогазова галузь розвинута слабо. Існують лише прикладів експлуатації біогазових установок в промисловості, сільському та муніципальному господарстві (табл. 2.30 та 2.31).

*Таблиця 2.30*

**Існуючі проекти БГУ в сільському господарстві України, 2016 р.**

Підприємство	Рік запуску	Субстрат	Кількість субстрату, т/доба	Потужність електрична/теплова, кВт	Вихід біогазу, м <sup>3</sup> /доба
Свиноферма “Запоріжсталь”, на 8000-10000 голів, м. Запоріжжя	1993	Свинячий навіз	20 – 22	–	Вихід біогазу – 575 – 680 м <sup>3</sup> /доба
Свинокомплекс, “Агро-Овен”, Дніпропетровська обл., 15000 голів	2003	Свинячий навіз	80	160/320	Вихід біогазу – 3300 м <sup>3</sup> /доба
Сільськогосподарська компанія “Еліта”, Київська обл., 1000 голів	2009	Гной (90 % ВРХ + 10 % свині)	60	250/310	Вихід біогазу – 2160 м <sup>3</sup> /доба
Ферма ВРХ “Українська Молочна Компанія”, Київська обл.	2009	Гной ВРХ + силос (план)	400	955/1081	–
ВАТ “Зелений Гай”, Миколаївська обл.	2010	Силос	10	125/140	–
Свиноферма ТОВ “Даноша” с. Копанки, Івано-Франківська обл.	–	Гній свиней, солома	400	1063	10800
Птахофабрика “Оріль-Лідер” “ГК ПАТ “Миронівський хлібопродукт” с. Єлизаветівка, Дніпропетровська обл.	–	Послід пташиний, Силос сорго, осади стічних вод	205	5000	49920
Глобинський цукровий завод Агропромхолдингу “Астарт-Київ” смт. Глобине, Полтавська обл.	–	Жом цукрових буряків	1200	500	168000
Рокитнянський цукровий завод смт. Рокитне, Київська обл.	–	Жом цукрових буряків	120	2378	22080

*Джерело: [4; 5]*

Ще десяток проектів знаходяться на стадії будівництва.

*Таблиця 2.31*

**Існуючі проекти БГУ в промисловості та муніципальному господарстві України**

Підприємство	Рік запуску	Сировина	Кількість сировини	Примітка
Бортнічеська станція аерації	1965	Стічні води	25000 м <sup>3</sup> /год.	
ВАТ “Рубіжанський картонно-тарний комбінат”	2011	Стічні води	250 м <sup>3</sup> /год.	
ДП “Лужанський експериментальний завод”	2009	Після спиртова барда	–	На 32 % зменшено споживання природного газу
Львівський полігон ТПВ	2008	ТПВ	8 млн т	
Полігон ТПВ (Ялта/Алушта)	2008	ТПВ	2 млн т	
Маріупольський полігон ТПВ	2009	ТПВ	2,5 млн т	
Запоріжський полігон ТПВ	2011	ТПВ	8 млн т	
Луганський полігон ТПВ	2011	ТПВ	3 млн т	
Київський полігон ТПВ № 5	2012	ТПВ	10 млн т	
ЗАТ “Крафт Фудз Україна”, Київська обл.	2008	Стічні води підприємства	540 т/доба	Вихід біогазу – 2400 м <sup>3</sup> /доба, спалюється на факелі

*Джерело: [4; 5]*

В Україні спостерігається загально світова тенденція, – більша частка БГУ використовують для своєї роботи не продукцію та відходи сільськогосподарського виробництва, а промислові та муніципальні відходи (табл. 2.32).

Вихід газу зазвичай підраховується в літрах або кубічних метрах на кілограм сухої речовини, що міститься у субстраті.

Таблиця 2.32

**Структура БГУ за типами в Україні**

Категорія БГУ	Кількість, шт.	Частка, %
Полігон ТПВ	6	37,5
Каналізаційні стоки	1	6,25
Промислові каналізаційні стоки	3	18,75
Централізовані БГУ	–	–
БГУ сільськогосподарських підприємств	6	37,5
Всього	16	100

*Джерело: розрахунки авторів*

У табл. 2.33 показані значення виходу біогазу на кілограм сухої речовини для різних видів сировини після 10 – 20 днів ферментації при роботі установки в мезофільному режимі.

Таблиця 2.33

**Вихід біогазу і вміст у ньому метану при використанні різних типів сировини**

Тип сировини	Вихід газу (м <sup>3</sup> на кілограм сухої речовини)	Вміст метану, %
А. Гній		
Гній ВРХ	0,250 – 0,340	65
Гній свиней	0,340 – 0,580	65 – 70
Пташиний послід	0,310 – 0,620	60
Гній коней	0,200 – 0,300	56 – 60
Гній овець	0,300 – 0,620	70
В. Відходи господарства		
Стічні води, фекалії	0,310 – 0,740	70
Овочеві відходи	0,330 – 0,500	50 – 70
Бадилля картоплі	0,280 – 0,490	60 – 75
Бадилля буряку	0,400 – 0,500	85
С. Рослинні сухі відходи (солома)		
Пшениця солома	0,200 – 0,300	50 – 60
Солома жита	0,200 – 0,300	59
Ячмінна солома	0,250 – 0,300	59
Вівсяна солома	0,290 – 0,310	59
Кукурудзяна солома	0,380 – 0,460	59
Льон	0,360	59
Конопля	0,360	59
Буряковий жом	0,165	–
Листя соняшнику	0,300	59
Клевер	0,430 – 0,490	–
Д. Інші		
Трава	0,280 – 0,630	70
Листя дерев	0,210 – 0,290	5

*Джерело: узагальнено авторами*

Для визначення виходу біогазу зі свіжої сировини за допомогою таблиці, спочатку потрібно визначити вологість свіжої сировини. Для цього можна висушити кілограм свіжого субстрату і зважити сухий залишок.

Визначити кількість свіжого субстрату з певною вологістю буде відповідати одному кілограму сухої речовини можна наступним чином: від 100 віднімаємо значення вологості субстрату в процентах, а потім ділимо 100 на це значення:  $100 : (100 \% - \text{вологість у } \%)$ .

Приклад. Якщо вологість використовуваного в якості сировини гною ВРХ дорівнює 85 %, то 1 кг сухої речовини буде відповідати  $100 : (100 - 85) =$  близько 6,6 кг свіжого гною. Тобто, з 6,6 кг свіжого гною ми отримуємо 0,250 – 0,320 м<sup>3</sup> біогазу, а з 1 кг свіжого гною ВРХ можна отримати в 6,6 раз менше: 0,037 – 0,048 м<sup>3</sup> біогазу.

Густина біогазу становить приблизно 1,2 кг/м<sup>3</sup> (залежно від виду субстрату та відповідного складу біогазу), тому при підрахунку кількості одержуваних добрив необхідно віднімати його з кількості сировини, що переробляється.

Кожна біогазова установка є індивідуальним комплексом інженерно-технічних споруд та обладнання. Тим не менш, при виробництві біогазу з субстратів, які можна віднести до певної окремої категорії, технологічні схеми БГУ, за основними вузлами, що входять в неї, можна наближено вважати типовими.

При виробництві біогазу з гнойових відходів та рослинної сировини з наступною утилізацією його для виробництва електричної та теплової енергії в КГУ, типова технологічна схема БГУ включає в себе такі основні вузли:

- 1) приймальна ємність для гнойових відходів; є обов'язковим компонентом як для БГУ для сумісного зброджування з СК так і при моно-зброджуванні гною;
- 2) силосні кагати для зберігання річного запасу силосу (в схемі монозброджування гною відсутні); типово виконуються у вигляді відкритих майданчиків облаштованих боковими бетонними стінками;
- 3) приймальна ємність з дозуючо-подаючим механізмом для сипучих типів субстратів (силос, зернові, тощо) (в схемі моно-зброджування гною відсутні);
- 4) насосна станція для подачі рідких субстратів в біореактор;
- 5) герметичний біореактор, обладнаний системами перемішування, обігріву, засобами автоматизації та контролю, де організовується вихід основної частини біогазу; в більшості випадків підкупольний простір біореактора використовується як буферний простір для накопичення та попередньої десульфуризації біогазу;
- 6) ємність для накопичення перебродженої в біореакторі маси (доброджувач); ємність слугує резервним джерелом інокуляту для біореактора, а також дозволяє, при герметичному її виконанні, зібрати залишковий біогаз;
- 7) газова інфраструктура;
- 8) система теплових мереж для забезпечення обігріву та контролю температури в біореакторі;
- 9) когенераційна установка;
- 10) установка для резервного спалювання біогазу (факел);
- 11) контрольно-вимірювальні прилади і апаратура (КВПіА);
- 12) сепаратор для розділення зброженої маси та твердої та рідкої фракції;
- 13) лагуна для накопичення рідкої фракції зброженої маси з розрахунку на зберігання протягом 180 діб.

На рис. 2.21 показано принципову технологічну схему типової БГУ для сумісного зброджування гнойових відходів та рослинної сировини.

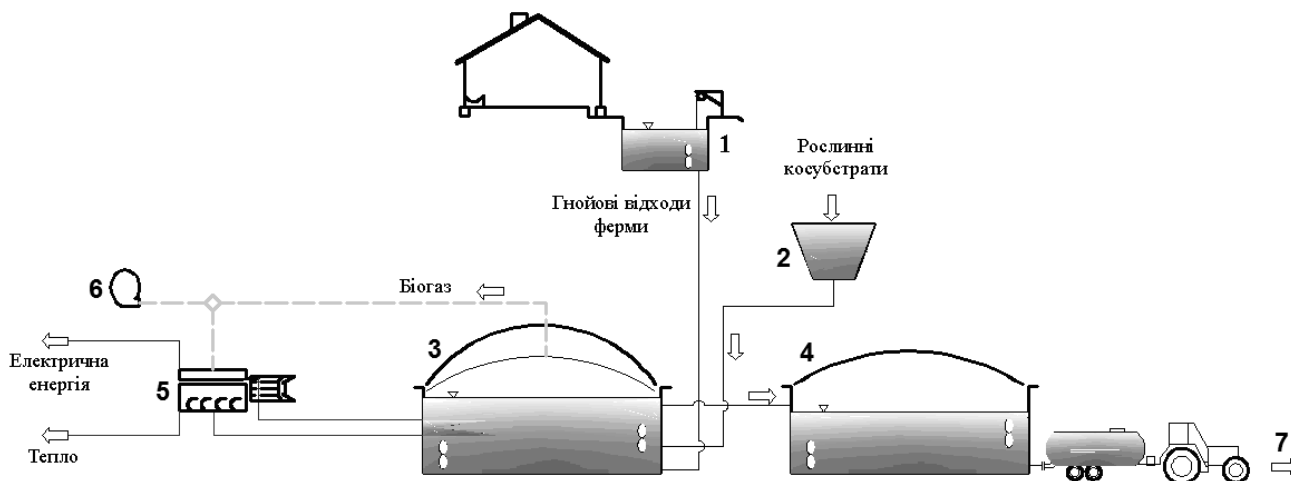


Рис. 2.21. Технологічна схема типової БГУ для переробки гнойових відходів та рослинної сировини, з виробництвом електричної та теплової енергії в КГУ:

- 1 – приймальна ємність гнойових відходів; 2 – приймально-дозуюча ємність для силосу кукурудзи; 3 – біореактор; 4 – доброджувач; 5 – КГУ; 6 – факел; 7 – видалення зброженої маси (лагуни, поля)

Джерело: [18]

Виконаємо оцінку інвестиційних витрат на створення біогазових установок. Економічні чинники, що визначають фінансову життєздатність біогазових проектів (наприклад інвестиційних витрат, державної підтримки через гранти, тощо) можуть істотно змінюватися з часом. Цей факт потрібно враховувати. Будівництво великого біогазового комплексу потребує значних інвестицій. У ряді країн на сьогоднішній день існує грантова підтримка за рахунок державних коштів для забезпечення фінансової стійкості, особливо, на початковому етапі. В країнах ЄС центральна державна підтримка у формі грантів, у багатьох випадках, виявилася вирішальною. Створення ринку біогазу в Західній Європі в довгостроковій перспективі залежить від продовження такого роду підтримки.

У Німеччині існує кілька тисяч біогазових установок у сільському господарстві. Інвестиційні витрати на їх будівництво (субстрат – силос або інша рослинна біомаса), залежить від їх потужності (рис. 2.22).

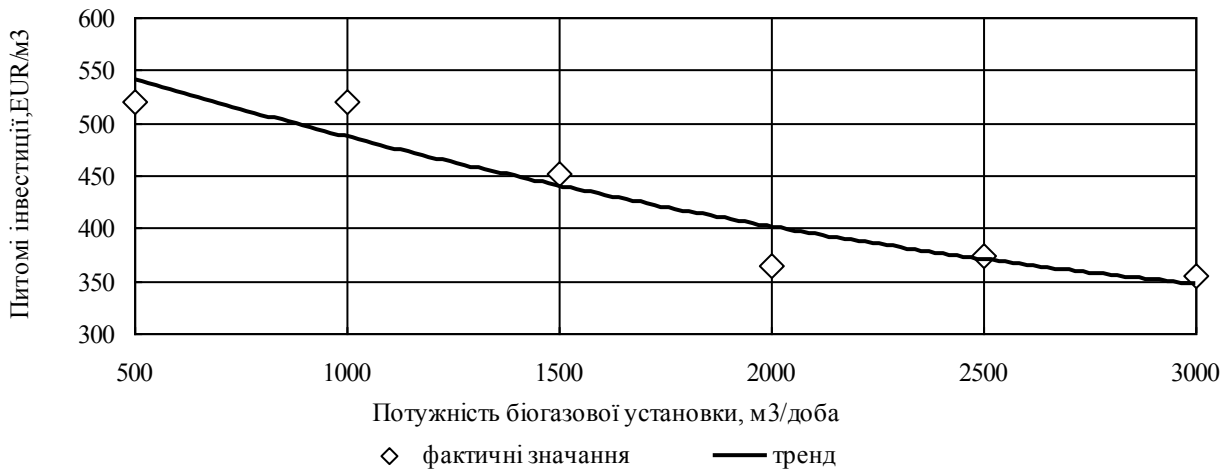


Рис. 2.22. Питомі інвестиційні витрати в будівництво БГУ

Джерело: [18]

Рослини (основна продукція або рослинні рештки) використовуються в біогазовому реакторі для отримання біогазу. На рис. 3.21 показані питомі інвестиційні витрати для комплексів, які обладнані когенераційними установками для трансформації біогазу в енергію: теплову та електричну. Ці витрати визначені на основі кількості біогазу, отриманого в  $\text{м}^3$  на добу.

### 2.13. Обґрунтування проекту створення біоенергетичного селища на території України

© Бавико О. Є.

*д.е.н., доцент, завідувач кафедри підприємництва і торгівлі, Донецький національний університет економіки і торгівлі ім. Михайла Туган-Барановського, м. Кривий Ріг, Україна*

© Єрмак С. О.

*к.е.н., доцент, доцент кафедри підприємництва і торгівлі, Донецький національний університет економіки і торгівлі ім. Михайла Туган-Барановського, м. Кривий Ріг, Україна*

© Бугаєнко О. В.

*здобувач вищої освіти, Донецький національний університет економіки і торгівлі ім. Михайла Туган-Барановського, м. Кривий Ріг, Україна*

Розвиток енергоефективності суспільства в цілому та його економічної підсистеми є одним з основних напрямів управлінського впливу владних структур на економіку у розвинених країнах. Можна стверджувати, що ступінь пріоритетності відповідних завдань, екологічна складова та наявні технології їх вирішення набули ваги індикатора цивілізаційної розвиненості країни. Директива N 2009/28/ЄС Європейського парламенту та Ради ЄС “Про стимулювання використання енергії з відновлюваних джерел”, встановлює в якості обов’язкової цілі доведення до 2020 р. загальної частки енергії з відновлюваних джерел до 20 % і поновлюваних джерел енергії в транспортному секторі – до 10 %. Відповідні показники мають бути досягнені на основі розвитку рентабельних видів виробництва та пріоритетного розвитку біопалива другого покоління.

Проблема енергозабезпечення в Україні з кожним роком тільки посилюється, разом із економічною кризою спостерігається погіршення екологічного становища, працює велика кількість шахт та заводів, що забруднюють навколишнє середовище, більшість з підприємств не використовують екологічні інноваційні технології [6].

За умов політико-економічної конфронтації та бойових дій на Сході України, проблема збільшення енергоефективності національної економіки набула першочергового значення та перетворилась на один з основних показників ступеню ефективності управлінської діяльності уряду. В Україні на цей час вже сформовано певну нормативну базу, що покликана стимулювати розвиток технологій використання енергії з відновлюваних джерел.

Енергетична стратегія України, що була схвалена Кабінетом Міністрів 24 липня 2013 р. визначає освоєння відновлюваних джерел енергії, як важливий фактор підвищення рівня енергетичної безпеки та зниження антропогенного впливу енергетики на навколишнє природне середовище.

У “Національному плані дій з відновлювальної енергетики на період до 2020 р.” в якості національної індикативної цілі встановлено необхідність досягнення частки відновлювальних джерел енергії в електроенергетиці на рівні 11 %.

За інформацією Енергетичної стратегії, попит на електроенергію в Україні у 2030 р. за базовим сценарієм на 50 % перевищить рівень 2010 р. Стимулюючими щодо збільшення обсягів виробництва електроенергії з відновлювальних джерел є фіскальні пільги, передбачені Податковим та Митним кодексами України, а також встановлення Законом України “Про електроенергетику”, “зеленого” тарифу, за яким закуповується електрична енергія, вироблена на об’єктах електроенергетики, з альтернативних джерел енергії.

Доволі активна підтримка держави та наявні природно-технологічні ресурси є добрим підґрунтям для швидкого та ефективного розвитку підкомплексу електроенергетики відновлювальних джерел. За оцінками фахівців Інституту відновлюваної енергетики Національної академії наук, потенціал відновлюваних джерел енергії досягає 68,6 млн. т нафтового еквіваленту, що становить близько 50 % загального енергоспоживання в Україні.

Беручи до уваги великі обсяги біомаси, доступної для виробництва енергії та наявні технологічні можливості, біоенергетику необхідно розглядати, як один з пріоритетних напрямів розвитку електроенергетики відновлювальних джерел. Сектор біоенергетики вже сьогодні фактично заміщує понад 1,93 млрд. м<sup>3</sup>/рік природного газу в Україні. Загальний обсяг теплової потужності на біомасі складає 3670 МВт, в тому числі 2000 МВт – використовує населення, 355 МВт – ЖКГ і бюджетна сфера, більше 1300 МВт – промисловість. Прийнятий Урядом Національний план дій з відновлювальної енергетики до 2020 р., ставить задачу перед сектором біоенергетики додатково замінити 5,27 млрд. м<sup>3</sup>/рік природного газу твердим біопаливом й досягти загального заміщення газу в обсязі 7,2 млрд. м<sup>3</sup>/рік у 2020 р. Це потребуватиме нарощування використання теплогенеруючого обладнання до 16150 МВт у 2020 р. та відповідатиме фактичному збільшенню потужностей у 4,4 рази [10].

Аналіз європейського досвіду впровадження енергоефективних технологій вказує на наявність організаційно-технологічних та ресурсних можливостей для запровадження та поширення практики організації біоенергетичних селищ. Відповідна технологія сприятиме вирішенню питання локального забезпечення електроенергією сільських громад, створення на цій основі нових робочих місць, економії фінансових ресурсів на рівні місцевих бюджетів, окремих підприємств та домогосподарств.

Необхідність активного впровадження наявних у сфері біоенергетики техніко-економічних рішень у практику функціонування громад міст та селищ України, обумовлює актуальність розробки проекту біоенергетичного селища на прикладі селища Вільне Криворізького району Дніпропетровської області.

Проблемам визначення можливих шляхів розвитку, наявного потенціалу та управлінських інструментів щодо активізації впровадження відновлювальної електроенергетики в Україні присвячено дослідження В. Адамчука [1], В. Биби [3], О. Замкового [8], Л. Єфімцевої [7], А. Конеченкова [10], Л. Матвійчука [12], М. Роїка [13], В. Кучерявого [11] та інших вчених. Розвиток електроенергетики відновлювальних джерел розглядається дослідниками як прояв інноваційного розвитку та засіб забезпечення енергетичної безпеки країни. Прикладні аспекти проектування біоенергетичних селищ та енергетичних кооперативів щодо локалізації необхідного потенціалу, визначення джерел фінансування та еколого-економічної ефективності, досліджують у своїх працях О. Левченко [5], Л. Матіюк [9], А. Пастух [15], Ю. Шафаренко [14] та інші вчені.

Проте, загальна складність проблеми впровадження біоенергетичних технологій, що обумовлена великою кількістю зовнішніх факторів впливу, залишає широке поле для теоретичних та прикладних досліджень. Тому, доцільним стає обґрунтування проекту біоенергетичного селища на основі вивчення європейського досвіду на прикладі селища Вільне Криворізького району Дніпропетровської області, що являє собою локалізовану біоенергетичну енергосистему, яка забезпечує електро- та теплопостачання для промислових підприємств, комунальних установ та індивідуальних домогосподарств у невеликому населеному пункті.

Базовою для представленого дослідження є німецька концепція біоенергетичного селища – селище Юнде (Juehnde) у Нижній Саксонії. 750 жителів села Юнде скористались державним фінансуванням для науково-дослідних проектів та інвестували у будівництво біометанового заводу та електростанції, що перетворює біометан на електроенергію, а також центральної опалювальної котельні, що працює на дерев’яній стружці. В результаті, Юнде виробляє у двічі більший щорічний обсяг електроенергії, ніж споживає, та повністю покриває свої потреби у тепловій енергії за рахунок відновлюваних джерел. Юнде є самодостатнім “біоенергетичним селищем”. Відповідна технологія вирішує не тільки економічні питання забезпечення недорогою електроенергією. Вона виступає якісним проявом нового рівня суспільної взаємодії – інклюзивності, що характеризується залученням всіх людей до управління загальними справами. Біоенергетичні установки, котельні та біогазові станції знаходяться у кооперативній власності виробників тепла та місцевих фермерів, які забезпечують прямі поставки біомаси до біоенергогенеруючих потужностей [2].

Концепція біоенергетичного селища полягає у створенні локалізованої системи електро- та теплопостачання на основі біоенергетичних установок. Організаційною основою проекту біоенергетичного селища виступає кооперативна форма взаємодії промислових підприємств, що знаходяться на території сільської ради. Основні етапи створення біоенергетичного селища визначаються економічною та юридично-організаційною логікою, рис. 2.23.



Рис. 2.23. Стадії реалізації проекту біоенергетичного селища на основі коопераційної взаємодії промислових підприємств, фермерських господарств та селищної ради

*Джерело: узагальнено авторами за даними [4]*

На території селища Вільне та у безпосередній близькості від нього розташовуються два крупних промислових підприємства, вісім фермерських господарств, 357 індивідуальних домогосподарств та п'ять комунальних закладів. В якості організаційно-правової форми планується створення енергетичного кооперативу до якого входитимуть ПАТ "Криворізький турбінний завод "Констар", ПрАТ "Криворізький міськмолкозавод № 1", фермерські господарства та Вільненська селищна рада. Проект біоенергетичного селища заснований на принципах реалізації подібного проекту у Німеччині, але виходячи із законодавства України цей проект може бути створений у вигляді енергетичного кооперативу обслуговуючого типу. Річ в тім, що в українському законодавстві не передбачена можливість організації саме енергетичного кооперативу. Господарська діяльність обслуговуючого кооперативу передбачатиме виробництво та постачання електричної енергії тільки членам даного кооперативу.

Локалізація ресурсів для створення біоенергетичного селища засновується на безпосередній близькості промислових підприємств до селища. Відстань між Вільненською сільською радою та ПАТ "Криворізький турбінний завод "Констар" (вул. Окружна, 127), та ПрАТ "Криворізький міськмолкозавод № 1" (вул. Окружна, 9) складає 6,2 км по дорозі. Локалізація ресурсів, виробництва та споживання електро- та теплоенергії забезпечить мінімізацію витрат на транспортування.

Селище електрифіковане, газифіковане, телефонізоване, забезпечене центральним водопостачанням та водовідведенням. На території селищної громади розташовано п'ять комунальних закладів, три з яких будуть підключені до локальної мережі: загальноосвітня школа, дитячий садок, сільська амбулаторія.

Створення біоенергетичного селища на території Вільненської громади дозволить отримати задовольнити наступні інтереси сторін-учасниць кооперативу:

- скорочення витрат на оплату електричної енергії промисловими підприємствами та комунальними закладами;
- забезпечення теплопостачанням за пільговим тарифом комунальних закладів: загальноосвітньої школи, дитячого садка та сільської амбулаторії;
- вирішення проблеми утилізації відходів тваринництва, а саме великих обсягів навозу, що накопичилися на фермах селища;
- забезпечення додаткового попиту на продукцію фермерських господарств, що буде використовуватись в якості біомаси;
- створення додаткових робочих місць;
- потенційна можливість розширення мережі електропостачання на індивідуальні домогосподарства.



Енергетичний кооператив створюється на основі угоди про співпрацю між промисловими підприємствами, Вільненською селищною радою та фермерськими господарствами. Технологічне облаштування біоенергетичного селища передбачає встановлення біогазової установки (далі – БГУ), яка працює на силосі кукурудзяному, соломі та коров'ячому навозі (рис. 2.24). Як і в німецькому селищі, в результаті бродіння сировина виділятиме газ, який використовується в газовому генераторі для вироблення електроенергії. А тепло, що виділяється генератором, буде спрямоване на опалення школи, дитячого садка та сільської амбулаторії. Електроенергія по відкритій електромережі буде подаватись до досліджуваних підприємств.

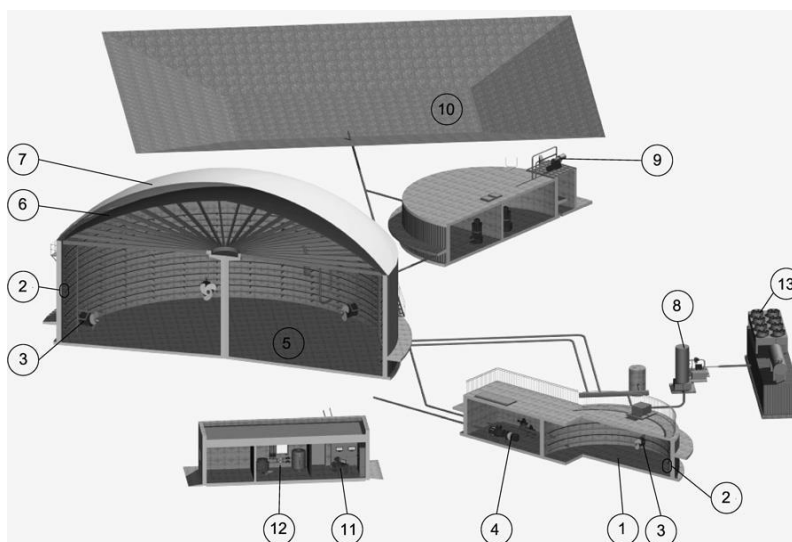


Рис. 2.24. Технологічна схема роботи біогазової установки:

1 – приймальний резервуар; 2 – система обігрівання; 3 – механічні мішалки; 4 – система подачі біомаси; 5 – ферментатор; 6 – ферментатор; 7 – купол; 8 – система газовідведення та газоподачі з системою відведення конденсату та сіркоочищення; 9 – сепаратор; 10 – лагуна чи резервуар для зберігання рідких добрив; 11 – система автоматики, візуалізації процесів і управління; 12 – тепловивод; 13 – когенератор.

*Джерело: [16]*

Найчастіше на такі масштабні проекти, пов'язані з альтернативними джерелами енергії, компанії шукають інвесторів, бо зазвичай період окупності таких проектів складає від 5 до 10 років. В Україні набули розповсюдження національні та міжнародні програми кредитування та фінансування проектів з використання альтернативних джерел енергії. Для залучення підприємців до участі у впровадженні проектів сталого енергетичного розвитку, Європейський Банк Реконструкції та Розвитку розпочав здійснення Програми фінансування альтернативної енергетики в Україні. З метою підтримки проектів, фінансування та реалізація яких часто є складним завданням, Програма забезпечує не лише необхідні фінансові кошти, але й технічну допомогу для їх учасників [18].

В основу проекту покладено наступні наявні умови та ресурси:

- локальна теплова мережа – підключення 3 комунальних закладів та 2 промислових підприємств; трубопровід – 7 км загалом;
- сировина для біогазової установки (силос кукурудзяний) – 730 т за рік;
- навоз коров'ячий – 120 т на рік;
- отриманий біогаз – 150982,25 м<sup>3</sup>;
- виробництво електроенергії – 332160,95 кВт-год. за рік;
- виробництво тепла – 305588,95 кВт-год. за рік (262,8 ГКал);
- потужність когенератора – 37,92 кВт в день;
- отримання біодобрива з тони сировини – 8,75 т (еквівалентно 0,08 т мінерального добрива гранульованого типу нітроамофоска);
- частина будівельних робіт виконується власними силами – 40 % економії.

Створення замкненої системи теплопостачання від біогазової установки передбачає прокладання трубопроводу загальною довжиною 7 км. Він об'єднує комунальні заклади та промислові підприємства з БГУ. Враховуючи циклічність виробництва рослинної біомаси, для запуску та безперебійної роботи БГУ потрібні запаси навозу коров'ячого, які будуть забезпечуватись фермерами селища.

Цикл виробництва силосу з кукурудзи передбачає підготовку ґрунту перед посадкою – 2 тижні, вирощування кукурудзи займає 17 тижнів, і для отримання з кукурудзи силосу необхідно ще 5 тижнів, всього виходить 168 днів.

Для біогазової установки можна буде отримувати силос кукурудзяний, шляхом засаджування полів кукурудзою, виходячи з того, що з 1 га можна отримати 5 т силосу. Для безперебійної роботи біогазової установки треба 146 га поля для збору кукурудзи.

Детальне планування та побудова. Біогазову установку планується придбати у компанії ТОВ “Екотенк”, яке знаходиться в м. Слов’янськ Донецької області. Компанія з 2007 р. проводить дослідні роботи в області отримання біогазу і добрив з органічних відходів в біогазових установках. ТОВ “Екотенк” – консорціум компаній України та Німеччини, які працюють у сфері сучасних біогазових технологій. Вони надають повний спектр послуг в галузі будівництва біогазових установок: дослідження сировини, проектування, монтаж обладнання, запуск, технічне обслуговування. Теоретичні та практичні роботи проводяться спільно з Київським інститутом теплофізики Національної академії наук України та УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого [17].

Біогазова установка складається з таких компонентів: біогазовий реактор з теплоізоляцією і теплообмінниками; газгольдер (газонакопичувач); ємності приймально-зливні з люками; змішувач; приймальні ємності з електроприводом (для гомогенізації сировини); насос фекальний занурювальний (для перекачування біодобрив в сховище і на поля); газоосушувач (видаляє вологу з біогазу); десульфурізатор газу (видаляє сірководень з біогазу); апаратура безпечного відведення газу (включається при відсутності газоспоживання); газовий компресор (забезпечує робочий тиск 0,05 атм. в системі живлення газових приладів); лічильник біогазу (для обліку виходу біогазу); котел біогазовий водогрійний проточного типу з циркуляційним насосом (подає гарячу воду для госппотреб і підігріву сировини БГУ); електричний котел резервний (на період запуску БГУ і для побутових потреб); труби, клапани, фітинги (для розведення газопроводу по БДУ); система управління – датчики, контролер, реле, проводи (для автоматичної підтримки температури в біореакторах). Розрахунок загальної вартості проекту представлений у табл. 2.24.

Таблиця 2.24

**Розрахунок вартості пуску та функціонування біогазової установки**

Складові всієї вартості біогазової установки	Розрахунок	Сума, грн.
Купівля біогазової установки з когенератором “під ключ”	298091,73 євро = 8183542 грн	8183542
Вартість прокладки газопроводу до комунальних закладів та підприємств (7 км)	25 грн/м; 7 км = 7000 м 25 · 7000 = 175000 грн	175000
Запуск в експлуатацію за допомогою технолога	–	8000
Необхідна сировина для запуску та функціонування біогазової установки навоз коров’ячий, силос кукурудзяний	1 т навозу + 1 т силосу = 600 грн 336 · 600 = 201600 грн	201600
Всього		8568142 грн

*Джерело: розрахунки авторів*

Отже, загальна вартість проекту складає 8568 тис. грн. Впровадження проекту забезпечить теплопостачання до трьох комунальних закладів та електропостачання двох підприємств. Для цього проекту планується виділення 146 га поля для висадки кукурудзи для подальшої її переробки.

Враховуючи специфіку юридичних та дозвільних процедур в Україні, часовий проміжок між започаткуванням та впровадженням складає 2 роки.

Розрахунок ефекту від впровадження проекту в діяльність підприємств показує, що до впровадження проекту ПАТ “Криворізький міськмолкозавод № 1” споживав за рік в середньому 53850 кВт-год. Тариф на електроенергію вказано у табл. 2.25. Розрахунок витрат на оплату електроенергії:

$$23850 \cdot 143,75 = 77409,38 \text{ грн.}$$

Таблиця 2.25

**Параметри розвитку біоенергетичного селища**

Орієнтовні показники розвитку біоенергетичного селища	Градація за розміром громади
Часовий проміжок планування та впровадження (планування, заявки, дозволи, будівництво)	2 роки
Інвестиції в локальне теплозабезпечення та вартість біогазової установки	8568142 грн
Квоти приєднання до локального теплопостачання	3 будівлі (ДНЗ, СЗШ, СА)
Основні тарифи для кінцевих споживачів (електроенергія)	143,75 коп./кВт-год.
Основні тарифи для кінцевих споживачів (тепло)	427,96 коп./ГКал 1 кВт-год. = 0,000860 ГКал
Потреба в орному угідді	Поле: 146 га (біогаз)

*Джерело: розрахунки авторів*

ПАТ “Криворізький турбінний завод “Констар” споживає за рік 60500 кВт-год., відповідно витрати на електроенергію за рік склали:

$$60500 \cdot 143,75 = 86968,75 \text{ грн.}$$

Всього за рік обидва підприємства споживають:

$$53850 \cdot 60500 = 114350 \text{ кВт-год.},$$

а в грошовому еквіваленті:

$$77409,38 + 86968,75 = 164378,13 \text{ грн.}$$

Розрахуємо витрати на теплопостачання до комунальних установ до впровадження біогазової установки. Тариф на теплопостачання вказано у табл. 1.2. В середньому за рік, дошкільний навчальний заклад використовує 44 ГКал, загальноосвітня школа – 93 ГКал, сільська амбулаторія 70 ГКал:

$$44 \cdot 427,96 = 18830,24 \text{ грн.}$$

$$93 \cdot 427,96 = 39800,28 \text{ грн.}$$

$$70 \cdot 427,96 = 29957,2 \text{ грн.}$$

Всього ці об'єкти витрачають на теплопостачання за рік:

$$18830,24 + 39800,28 + 29957,2 = 88587,72 \text{ грн.}$$

Отже, всього підприємства та сільські заклади витрачають:

$$164378,13 + 88587,72 = 252965,85 \text{ грн.}$$

За перший рік роботи біогазова установка виробить електроенергії – 332160,95 кВт-год., а тепла – 305558,95 кВт-год., Отже, сума економії за перший рік:

$$(332160,95 \cdot 143,75) : 100 + (305558,95 \cdot 0,000860) \cdot 427,96 = 477481,37 + 112472,17 = 589953,54 \text{ грн.}$$

Період окупності складе 10,2 років.

Реалізація пропонованого проекту біоенергетичного селища дозволить отримати ряд позитивних ефектів, що значно покращують загальну соціально-економічну та екологічну ситуацію в селищі Вільне. Економічна ефективність проекту знаходить свій прояв в економії фінансових ресурсів на оплату електроенергії та теплопостачання підприємствами і комунальними закладами. Підприємства – учасники енергетичного кооперативу матимуть можливість зменшити собівартість своєї продукції, що зробить її більш конкурентоздатною. Переорка відходів тваринництва завдяки використанню БГУ знімає необхідність додаткових витрат на утилізацію та можливі екологічні платежі і штрафи. На території сільської ради формується сталий попит на продукцію землеробства для виготовлення біомаси, а також утворюються нові робочі міста, що забезпечує певну господарську стабільність території та її суб'єктів.

Екологічна доцільність проекту знаходиться поза сумнівом, оскільки використання сучасних БГУ звільняє територію тваринницьких підприємств від біологічних відходів, що унеможлиблює формування патогенної мікрофлори, емісії запахів, забруднення ґрунтових вод. Одночасно, використання БГУ суттєво зменшує викиди вуглекислого газу в атмосферу, забезпечує виробництво біодобрив, які збільшують врожайність, одночасно зберігаючи родючість ґрунту.

Соціальний ефект проекту пов'язаний із забезпеченням теплопостачання важливих для селища комунальних закладів, створенням нових робочих місць, можливістю за умов вдалого розвитку проекту, підключення до електропостачання індивідуальних домогосподарств, а отже, загального покращення рівня соціально-економічного розвитку території.

За результатами дослідження встановлено, що термін окупності проекту біоенергетичного селища становитиме 10,2 роки, що є доволі критичним терміном для будь якого інвестора. Впровадження новітніх технологій завжди вимагає великих капіталовкладень. Відповідний фінансовий тягар, враховуючи його потенційну суспільну значимість, держава має розділити із суб'єктами господарювання та громадами українських міст та селищ.

#### **2.14. Шляхи енергозбереження при забезпеченні мікроклімату учбових приміщень**

© Гайдукевич С. В.

*ст. викладач кафедри електротехнологій та експлуатації енергообладнання,  
ВП НУБіП України "Бережанський агротехнічний інститут", м. Бережани, Україна*

© Семенова Н. П.

*ст. викладач кафедри електротехнологій та експлуатації енергообладнання,  
ВП НУБіП України "Бережанський агротехнічний інститут", м. Бережани, Україна*

© Соловей І. М.

*к.т.н., доцент кафедри електротехнологій та експлуатації енергообладнання,  
ВП НУБіП України "Бережанський агротехнічний інститут", м. Бережани, Україна*

На сьогодні одне з найважливіших питань учбових закладів, яке має стратегічне значення і потребує комплексного підходу до його вирішення – це створення енергозберігаючих систем для підтримання мікроклімату в навчальних приміщеннях відповідно до існуючих нормативів.

Мікроклімат приміщення – це клімат обмеженого простору, який включає в себе сукупність факторів середовища: температура, вологість, швидкість руху і охолоджуюча здатність повітря, атмосферний тиск, рівень шуму, вміст зважених в повітрі пиловидних частинок і мікроорганізмів, газовий склад повітря, освітленість, а також інтенсивність теплового випромінювання [1, с. 144].

Основним показником оптимального мікроклімату учбового приміщення являється температура, так як вона має безпосередній вплив на теплообмін і характер роботи студентів [2]. Всім відомо, що тривалий вплив на людину несприятливих метеорологічних умов різко погіршує її самопочуття, знижує продуктивність праці і призводить до захворювання.

Вимоги до метеорологічних умов регламентують Санітарні правила і норми – СанПіН 2.2.4.548-96 “Гігієнічні вимоги до мікроклімату виробничих приміщень”, які встановлюють оптимальні і допустимі величини показників мікроклімату для робочої зони закритих виробничих приміщень з урахуванням характеристики трудового процесу, важкості виконуваної роботи, часу перебування на робочому місці та періодів року, а також методи вимірювання і оцінки цих показників на діючих підприємствах [3].

Але обігрів приміщень вимагає великих витрат енергії. На сьогоднішній день в Україні вартість виробництва теплової енергії значно залежить від виду “палива”: найдешевшим є природний газ, потім електроенергія і дизельне паливо. Однак, це тільки сьогоднішня ситуація, ціна на енергоносії весь час змінюється.

Із зростанням цін на енергію, на газ, і враховуючи зростаючі вимоги до збереження навколишнього середовища перед нами стоїть задача знайти найоптимальніші шляхи енергозбереження при забезпеченні мікроклімату учбових приміщень. Перспективними енергозберігаючими системами можуть бути визнані ті, які забезпечують оптимальний кліматичний режим у поєднанні з раціональною витратою електричної і теплової енергії. І ніхто не зауважує, що тепла енергія існує навколо нас, проблема в тому, як її витягнути з мінімальними витратами енергоресурсів.

Одним з ефективних енергозберігаючих способів, що дають можливість економити органічне паливо, знижувати забруднення навколишнього середовища, задовольняти потреби споживачів у технологічному теплі, є застосування теплонасосних технологій виробництва теплоти, в яких низько потенціальні теплові потоки перетворюються в потоки з вищим температурним рівнем. Тобто теплові насоси є різновидом трансформаторів теплоти і призначені для одержання теплоносія середнього та підвищеного потенціалу, використовуваного при тепловому споживанні.

Теплові насоси без забруднення навколишнього середовища шкідливими викидами і надмірного споживання первинних енергоносіїв (електроенергія, паливо) надають можливість отримати теплову енергію для опалення будівель і гарячого водопостачання за рахунок використання тепла різних джерел – ґрунтових, артезіанських і термальних вод, води річок, озер і морів; очищених промислових і побутових стоків, вентиляційних викидів і димових газів, ґрунту і земних надр, повітря – шляхом перенесення його до теплоносія з більш високою температурою. Використання низькопотенційної теплоти навколишнього середовища тепловими насосами для генерації теплової енергії є одним із найбільш ефективних та екологічно чистих напрямів, який має значне поширення у світі [4, с. 180; 5, с. 13; 6, с. 7].

Основна відмінність теплового насосу від інших генераторів теплової енергії, наприклад, електричних, газових і дизельних генераторів тепла полягає в тому, що при виробництві тепла до 80 % енергії витягується з навколишнього середовища.

Отже, це дозволяє отримати в 3–4 рази більше теплової енергії в порівнянні з витраченою електричної. Крім того, вибираючи тепловий насос, ми вибираємо комфорт.

Теплові насоси можуть витягувати тепло буквально по крупицях з навколишнього середовища, а вже потім трансформувати його і направляти до місця безпосереднього використання. В якості джерела енергії для теплового насосу найбільше використовується повітря, вода, ґрунт на основі реалізації процесу завдяки фізичним властивостям деяких речовин (холодоагентів), тобто закипати при низьких температурах.

Отже, витрати традиційних ресурсів для працездатності представленого теплогенератора пов’язані лише з транспортуванням енергії, тоді як основна її частина залучається із зовні. Завдяки принципам характеристик теплових насосів, коефіцієнт їх продуктивності може досягати 3–7 одиниць, тобто, витрачаючи 100 Вт електричної енергії для роботи теплового насосу, можна одержати до 0,5 кВт теплової потужності.

Безумовно, процес вибору і розрахунок теплового насоса, як і іншого теплогенератора є дуже складною в технічному відношенні операцією і залежить від індивідуальних особливостей об’єкту.

Перш за все, необхідно визначитися з потужністю теплового насоса, оскільки це одна з вирішальних технічних характеристик. Вона вибирається виходячи з величини тепловтрат будівлі.

Будь-який живий організм може бути представлений як енергетична система. При проведенні дослідження ми врахували, що кожна енергетична система повинна бути розроблена так, щоб при

мінімальній витраті електричної енергії виконувалися необхідні функції. Кількість енергії, споживана організмом, витрачалася на його нормальне функціонування. Тобто, частину енергії організм витрачає на обігрів. Чим нижче температура навколишнього середовища від необхідного значення, тим більше енергії він витрачає на підтримку її усередині свого тіла на потрібному рівні. Проте, якщо температура буде раціональною, то частину своєї енергії організму витрачати на самообігрів не доведеться, і вона буде перенаправлена на інші процеси [7, с. 114].

На базі Бережанського агротехнічного інституту проведено аналіз підвищення ефективності за рахунок впровадження новітніх технологій, зокрема із застосуванням теплових насосів, що дозволить значно скоротити обсяги споживання органічних паливних ресурсів та заміщення їх природними джерелами теплоти, що приведе до скорочення споживання теплової енергії на потреби опалення лабораторного корпусу.

Тепловий баланс розраховують виходячи з умов забезпечення температурного режиму приміщення. Зокрема, тепловий баланс визначається за надходженням і витратою теплоти в даному приміщенні по відомих методиках для найхолодніших місяців року і повинен бути позитивним.

Розрахунок теплового балансу лабораторного корпусу, що враховує особливості його конструкції визначався в наступній послідовності:

1. Ознайомилися з планом будівлі.

2. Для розрахунку і вибору установки вибрали зовнішні і внутрішні параметри.

Розрахункова температура і відносна вологість зовнішнього повітря приймалися згідно кліматологічного довідника. Середні дані для м. Бережан в зимовий період:

– температура зовнішнього повітря  $t_{зп} = -18 \text{ }^\circ\text{C}$  [8];

– відносна вологість зовнішнього повітря  $\varphi_{нв} = 82 \%$  [8];

– температура ґрунту  $t_{гр} = 8,0 \text{ }^\circ\text{C}$  [8, с. 9];

– температура води, що йде з системи опалювання  $t_{зв} = 30 \text{ }^\circ\text{C}$ ;

Параметри повітря в кондиціонуючих приміщеннях приймаються згідно [8]:

– температура повітря в приміщеннях учбово-адміністративної будівлі  $t_{вн} = 22 \text{ }^\circ\text{C}$  [8];

– відносна вологість повітря в приміщеннях учбово-адміністративної будівлі  $\varphi_{нв} = 40 - 60 \%$  [8];

– температура в коридорах учбово-адміністративної будівлі  $t_{кор} = 0,8 \cdot t_{вн} = 0,8 \cdot 22 = 17,6 \text{ }^\circ\text{C}$  [8, с. 153].

3. Визначили коефіцієнт теплопередачі зовнішньої стіни.

Конструкція зовнішньої стіни учбово-адміністративної будівлі типова (рис. 2.25): штукатурка цементна зовнішня (20 мм); бутова кладка (700 мм); штукатурка цементна внутрішня (20 мм).

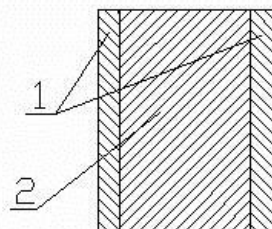


Рис. 2.25. Конструкція зовнішньої стіни:  
1 – штукатурка цементна; 2 – бутова кладка

Коефіцієнти тепловіддачі і відповідні термічні опори [8]:

– для зовнішньої поверхні  $\alpha_n = 23,3 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ ;  $1/\alpha_n = 0,043 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$ ;

– для внутрішньої поверхні (циркуляція повітря в приміщенні природна)  $\alpha_{вн} = 8 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ ,  $1/\alpha_{вн} = 0,125 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$ .

Розрахуємо коефіцієнт теплопередачі зовнішньої стіни:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_n} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_{вн}}}, \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}) \quad (2.3)$$

де  $k$  – коефіцієнт теплопередачі,  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ ;

$\alpha_n, \alpha_{вн}$  – коефіцієнти тепловіддачі від повітря до зовнішньої поверхні і від внутрішньої поверхні до повітря в приміщенні,  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ ;

$\delta_i$  – товщина шарів матеріалів, складових конструкцію огорожі, м;

$\lambda_i$  – коефіцієнт теплопровідності будівельних матеріалів,  $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ .

Коефіцієнти теплопровідності матеріалів [8]:

– штукатурка цементна  $\lambda_1 = 0,88 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ ;

– черепашник  $\lambda_2 = 0,7 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ ;

- будова кладка  $\lambda_2 = 1,2 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ ;
- залізобетонний моноліт  $\lambda_2 = 1,4 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ .

4. Визначили коефіцієнт теплопередачі коридорної стіни.

Конструкція коридорної стіни адміністративної будівлі типова (рис. 2.26): штукатурка цементна по обох краях (20 мм); черепашник (800 мм).

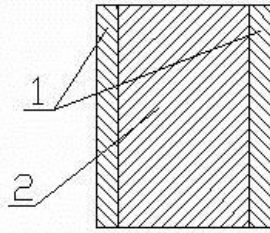


Рис. 2.26. Конструкція коридорної стіни:  
1 – штукатурка цементна; 2 – черепашник

Коефіцієнти теплопередачі і відповідні їм термічні опори приймаються рівними  $\alpha_{\text{вн}} = \alpha_{\text{кор}} = 8 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ .

$$\frac{1}{\alpha_{\text{вн}}} = \frac{1}{\alpha_{\text{кор}}} = 0,125, \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}.$$

5. Визначили коефіцієнт теплопередачі через стелю.

Стеля складається із залізобетонної стіни завтовшки 500 мм і штукатурки цементної з однієї сторони 20 мм. Знаючи коефіцієнти теплопровідності конструкційних елементів, розрахували коефіцієнт теплопередачі через стелю.

6. Визначили тепловтрати через огорожуючі конструкції.

Тепловтрати через огорожі виникають внаслідок наявності різниці температур і складаються з:

$$Q_{\text{огр}} = Q_{\text{зс}} + Q_{\text{в}} + Q_{\text{лс}} + Q_{\text{пс}} + Q_{\text{ст}} + Q_{\text{підл}} + Q_{\text{кор}} + Q_{\text{дв}}, \quad (2.4)$$

де  $Q_{\text{зс}}$  – тепловтрати від зовнішньої стіни, Вт;

$Q_{\text{в}}$  – тепловтрати через вікна, Вт;

$Q_{\text{лс}}$  – тепловтрати від лівої стіни, Вт;

$Q_{\text{пс}}$  – тепловтрати від правої стіни, Вт;

$Q_{\text{ст}}$  – тепловтрати через стелю, Вт;

$Q_{\text{підл}}$  – тепловтрати через підлогу, Вт;

$Q_{\text{кор}}$  – тепловтрати через коридор, Вт;

$Q_{\text{дв}}$  – тепловтрати через двері.

6.1. Знаючи коефіцієнти теплопередачі огорож, визначили тепловтрати через зовнішню стіну по формулі:

$$Q_{\text{зс}} = k_{\text{зс}} F_{\text{зс}} (t_{\text{вн}} - t_{\text{зн}}), \text{ Вт} \quad (2.5)$$

де  $F_{\text{зс}}$  – площа зовнішньої стіни без урахування вікон,  $\text{м}^2$ :

$$F_{\text{зс}} = (D \cdot B) - n_{\text{в}}(B_{\text{в}} \cdot \text{Ш}_{\text{в}}), \text{ м}^2 \quad (2.6)$$

6.2. Тепловтрати через вікна:

$$Q_{\text{в}} = k_{\text{в}} F_{\text{в}} n_{\text{в}} (t_{\text{вн}} - t_{\text{зн}}), \text{ Вт} \quad (2.7)$$

$k_{\text{в}}$  – коефіцієнт теплопередачі через вікно;  $k_{\text{в}} = 3,20 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$  [8];

$F_{\text{в}}$  – площа вікна,  $\text{м}^2$ .

$$F_{\text{в}} = B_{\text{в}} \cdot \text{Ш}_{\text{в}}, \text{ м}^2. \quad (2.8)$$

6.3. Тепловтрати через підлогу або через стелю, в залежності на якому поверсі знаходиться приміщення (1-й через підлогу, 2-й – стелю):

$$Q_{\text{підл}} = k_{\text{підл}} F_{\text{підл}} (t_{\text{вн}} - t_{\text{зн}}), \text{ Вт} \quad (2.9)$$

де  $k_{\text{підл}}$  – коефіцієнт теплопередачі через підлогу,  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ ;

$F_{\text{підл}}$  – площа підлоги,  $\text{м}^2$ ;

$$F_{\text{підл}} = D_{\text{підл}} \cdot \text{Ш}_{\text{підл}}, \text{ м}^2 \quad (2.10)$$

6.4. Тепловтрати через коридор:

$$Q_{\text{кор}} = k_{\text{кор}} F_{\text{кор}} (t_{\text{вн}} - t_{\text{зн}}), \text{ Вт} \quad (2.11)$$

де  $F_{\text{кор}}$  – площа коридорної стіни,  $\text{м}^2$ .

$$F_{\text{кор}} = D_{\text{кор}} \cdot \text{Ш}_{\text{кор}}, \text{ м}^2. \quad (2.12)$$

6.5. Тепловтрати через двері:

$$Q_{\text{д}} = k_{\text{д}} F_{\text{д}} n_{\text{д}} (t_{\text{вн}} - t_{\text{кор}}), \text{ Вт} \quad (2.13)$$

де  $k_d$  – коефіцієнт теплопередачі через двері, Вт/(м<sup>2</sup> · К) [8, с. 135];

$F_d$  – площа дверей;

$n$  – кількість дверей.

$$F_d = D_d \cdot Ш_d, \text{ м}^2 \quad (2.14)$$

7. Кількість теплоти, що виділяється людьми, підраховують по формулі:

$$Q_l = q_l \cdot n, \text{ Вт} \quad (2.15)$$

де  $n$  – число людей;

$q_l$  – тепловиділення однієї людини;  $q_l = 50$  Вт/люд. [8].

8. Тепловиділення від електричного освітлення визначають по формулі:

$$Q_{св} = P_{св} \cdot 0,6 \cdot n_{св} \cdot N_{св}, \text{ Вт} \quad (2.16)$$

де  $P_{св}$  – встановлена потужність світильника;

$n_{св}$  – кількість світильників;

$N_{св}$  – кількість ламп в світильнику.

9. Теплонадходження від сонячної радіації складаються з надходжень тепла через огорожі будівлі і через світлові отвори:

$$Q_{рад} = Q_{нас} + Q_{світ}, \text{ Вт} \quad (2.17)$$

9.1. Теплонадходження від сонячної радіації через огорожі будівлі:

$$Q_{нас} = k_{зс} F_{зс} \Delta t_c, \text{ Вт} \quad (2.18)$$

де  $\Delta t_c$  – надмірна різниця температур °С,  $\Delta t_c = 7,2$  °С [8].

9.2. Теплонадходження від сонячної радіації через світлові отвори визначаються по формулі:

$$Q_{світ} = k_{п} \cdot \tau_1 \cdot \tau_2 \cdot F_v \cdot Q_{с.р.} \cdot n_v, \text{ Вт} \quad (2.19)$$

де  $k_{п}$  – коефіцієнт проникнення;  $k_{п} = 0,3$  [8];

$\tau_1$  – коефіцієнт затінювання;  $\tau_1 = 0,3$  [8];  $\tau_2$  – поправочний коефіцієнт;  $\tau_2 = 0,62$  [8, с. 267];

$Q_{с.р.}$  – питомий потік теплоти від сонячної радіації;  $Q_{с.р.} = 210$  Вт/м<sup>2</sup> [8];

$n_v$  – кількість вікон.

10. Тепловтрати від інфільтрації через двері розраховують по формулі:

$$Q_{инф} = q_{дв} \cdot n \cdot \rho \cdot c_p (t_{вн} - t_{кор}), \text{ Вт} \quad (2.20)$$

де  $q_{дв}$  – кількість повітря, проникаючого через одні двері;  $q_{дв} = 0,25 \cdot 10^{-3}$  м<sup>3</sup>/с [8];

$\rho$  – щільність повітря;  $\rho = 1,22$  кг/м<sup>3</sup> [8];

$c_p$  – теплоємність повітря при постійному тиску,  $c_p = 1,007 \cdot 10^{+3}$  Дж/(кг · К) [8];

$n$  – число дверей.

11. Теплоту, що поступає в приміщення, підраховують по формулі:

$$Q = Q_{огр} - Q_l - Q_{осв} - Q_{рад} + Q_{инф}, \quad (2.21)$$

де  $Q_{огр}$  – тепловиділення через ті, що захищають конструкції, Вт;

$Q_l$  – тепловиділення від людей, Вт;

$Q_{осв}$  – тепловиділення від освітлювальних приладів, Вт;

$Q_{рад}$  – тепловиділення від сонячної радіації, Вт;

$Q_{инф}$  – тепловиділення від інфільтрації зовнішнього повітря, Вт.

12. Необхідну теплопродуктивність конденсатора визначають по формулі:

$$Q_k = \Sigma Q_i \cdot 1,2, \text{ Вт.} \quad (2.22)$$

Приймають теплопродуктивність конденсатора рівну цілому числу:

$$Q_k = 36 \text{ кВт.}$$

Залежно від типу джерела і приймача тепла, випарник і конденсатор можуть бути виконані як теплообмінники типу: грунт-вода, вода-вода, повітря-вода, повітря-повітря, грунт-повітря, вода-повітря.

Для всіх типів теплонасосів характерний ряд особливостей, про які необхідно пам'ятати при виборі моделі:

– по-перше, тепловий насос виправдовує себе лише в добре утепленому будинку, тобто з тепловтратами не більше 65 – 70 Вт/м<sup>2</sup>. Чим тепліший будинок, тим більший ефект при використанні даного пристрою. Як ми розуміємо, опалювати вулицю за допомогою теплового насосу, збираючи з неї по крихті тепла – не зовсім розумно;

– по-друге, чим більше різниця температур теплоносіїв у вхідному і вихідному контурах, тим менший коефіцієнт перетворення тепла, тобто менша економія електричної енергії. Саме тому вигідніше підключення теплового насосу до низькотемпературних систем опалювання. Перш за все, йдеться про опалення водою або теплим повітрям з використанням фанкойлів, оскільки в цих випадках теплоносій (наприклад вода) по методичним вимогам не повинен бути гарячішим 35 – 40°С. А чим гарячішу воду тепловий насос готує для вихідного контуру (радіаторів), тим меншу потужність він розвиває і тим більше споживає електроенергії;

– по-третє, для досягнення більшого ефекту практикується експлуатація теплового насосу з додатковим генератором тепла (у таких випадках говорять про використання бівалентної схеми опалення).

**Розрахункові тепловтрати приміщень через огорожуючі конструкції**

№ ауд.	Кількість вікон, розмір	Кількість дверей, розмір	Розміри приміщення	Q <sub>зс</sub> , Вт	Q <sub>в</sub> , Вт	Q <sub>ст</sub> , Q <sub>підл</sub> , Вт	Q <sub>кор</sub> , Вт	Q <sub>л</sub> , Вт	Q <sub>орг</sub> , Вт	
23	2 1,80x1,10	1 2,20x1,20	5,26x5,6x3,40 S = 29,46 м <sup>2</sup>	701,57	506,88	1802,7		77,88	8,71	4128,79
				959,62				71,44		
24	2 1,80x1,10	1 2,20x1,20	5,4x5,59x3,4 S = 30,18 м <sup>2</sup>	725,76	506,88	1847,38		81,95	8,71	3170,68
25	3 1,80x1,10	1 2,20x1,20	4,35x8,97x3,4 S = 39,02 м <sup>2</sup>	1237,72	760,32	2388		121,3	8,71	5260,96
				744,91						
26	1 1,80x1,10	1 2,20x1,20	4,37x6,3x3,4 S = 27,53 м <sup>2</sup>	649	253,44	1684,84		81,8	8,71	2677,79
Склад	1 1,80x1,10	1 2,20x0,9	1,48x5,57x3,4 S = 8,24 м <sup>2</sup>	140	253,44	504,29	10,41	6,53	914,69	
Кори-дор	2 1,4x0,5	1 2,20x1,20	4,31x5,89x3,4 S = 25,39 м <sup>2</sup>	510,75	60,48	1553,26	121,35	21,22	2267,06	
27	2 1,80x1,10	1 2,20x1,20	5,36x5,85x3,15 S = 31,36 м <sup>2</sup>	651,37	506,88	1918,98		73,55	8,71	4157,13
				928,87				68,77		
28	2 1,80x1,10	1 2,20x1,20	5,22x5,72x3,15 S = 29,86 м <sup>2</sup>	628,99	506,88	1826,82		78,48	8,71	3110
								60,13		
29	2 1,80x1,10	1 2,20x1,20	5,47x5,74x3,15 S = 31,4 м <sup>2</sup>	668,8	506,88	1921,54		63,55	8,71	3980,92
				811,44						
30	2 1,80x1,10	1 2,20x1,20	4,33x5,47x3,15 S = 23,68 м <sup>2</sup>	868,39	506,88	1449,53		63,55	8,71	3384,88
				487,82						
31	1 1,80x1,10	1 2,20x1,20	4,68x5,18x3,15 S = 24,86 м <sup>2</sup>	722,74	253,44	1483,63		59,57	8,71	2528,09
32	3 1,80x1,10	1 2,20x1,20	4,55x8,08x3,15 S = 36,76 м <sup>2</sup>	1099	506,88	2249,96		100,74	8,71	3965,29
33	1 1,80x1,10	1 2,20x1,20	3,02x4,54x3,15 S = 14,53 м <sup>2</sup>	395,5	253,44	839		29,93	8,71	1599,3
				720,72						
Кори-дор	1 1,80x1,10	1 2,20x1,20	1,8x23,15x3,15 S = 41,67 м <sup>2</sup>	122,9	253,44	2269,68	-	70,49	-	2852,4
				122,9						
Кори-дор	1 1,80x1,10	-	4,31x5,89x4,31 S = 25,39 м <sup>2</sup>	525,7	253,44	1382,39	-	-	2161,53	
Сан-проп	-	1 2,20x0,9	1,98x4,4x3,4 S = 8,71 м <sup>2</sup>	213,16	253,44	474,4	-	-	941	
Всього	-	-	S = 428,04 м <sup>2</sup>	-	-	-	-	-	47200,51	

Джерело: розрахунки авторів

Вибираючи теплопостачання від теплового насосу, необхідно, щоб дана установка покривала всі потреби в теплі.

Регулювання роботи системи опалювання з використанням теплових насосів в більшості випадках здійснюється за допомогою його ввімкнення і вимкнення по сигналу датчика температури, який встановлений в приймачі (при нагріванні) або джерелі (при охолодженні) тепла. Налаштування теплового насосу здійснюється заміною перетину дроселя (терморегулюючого вентиля).

Як і холодильна машина, тепловий насос використовує механічну (електричну або іншу) енергію для реалізації термодинамічного циклу. Ця енергія використовується на привід компресора (сучасні теплові насоси потужністю до 100 кВт комплекуються вискоелефективними компресорами). Тобто енергетична ефективність перетворення енергії в тепловому насосі оцінюється коефіцієнтом перетворення (коефіцієнт трансформації або ефективності) енергії (COP), що дорівнює відношенню кількості теплової енергії, яку виробляє тепловий насос, до кількості електричної енергії, яку він споживає для реалізації циклу [4, с. 193]:

$$V = \frac{Q_k}{N_e}, \quad (2.23)$$

де  $Q_k$  – теплова потужність теплового насосу, кВт;

$N_e$  – кількість енергії, яка затрачається на привід теплового насосу при виробленні тепла в кількості  $Q_k$ , кВт.



Коефіцієнт COP, тобто показник енергетичної ефективності, є важливою характеристикою ТНУ, залежить від рівня температур у випарнику і конденсаторі теплонасосу. Це значення коливається для різних теплонасосних систем в діапазоні від 2,5 до 7, тобто на 1 кВт витраченої електричної енергії тепловий насос виробляє від 2,5 до 7 кВт теплової енергії, що не під силу ні конденсаційному газовому котлу, ні будь-якому іншому генератору тепла. Тому можна стверджувати, що парокомпресійні теплові насоси виробляють тепло, використовуючи мінімальну кількість дорогої електричної енергії.

Таблиця 2.27

Розрахункові тепловтрати і тепловиділення лабораторного корпусу

№ ауд.	Q <sub>л</sub> , Вт	Q <sub>св</sub> , Вт	Q <sub>нас</sub> , Вт	Q <sub>світл</sub> , Вт	Q <sub>рад</sub> , Вт	Q <sub>інф</sub> , Вт	Q <sub>заг</sub> , Вт
23	800	192	126,28	46,4	345,41	1,35	2639,13
			172,73				
24	800	192	130,64	46,4	177,04	1,35	2002,99
25	800	288	222,79	69,8	426,56	1,35	3447,75
			134,17				
26	800	96,8	116,83	23,2	140,03	1,35	1642,31
Склад	–	24	25,22	23,2	48,42	–	842,25
Коридор	–	96	91,94	16,4	108,34	–	2062,72
27	800	192	117,25	46,4	330,84	1,35	2835,74
			167,19				
28	800	192	113,22	46,4	159,62	1,35	1959,73
29	800	192	120,38	46,4	312,84	1,35	2677,431
			146,06				
30	800	172,8	156,3	23,2	153,3	1,35	1403,3
			87,81				
32	800	259,2	243,2	46,4	289,6	1,35	2617,84
31	800	172,8	130,1	23,2	153,3	1,35	1403,3
33	250	96	71,19	23,2	223,21	1,35	1031,44
			128,82				
Коридор	–	192	24,86	23,2	75,74	–	2584,86
			27,48				
Коридор	–	172,8	106,32	23,2	129,52	–	1859,21
Санпроп	–	48	43,1	23,2	66,3	–	826,7
Всього	8250	2578,4	2703,88	547,2	3140,07	14,85	29995,8

Джерело: розрахунки авторів

Температурний рівень тепlopостачання від теплових насосів – 35 – 60 °С. Економія дорогих енергетичних ресурсів при такому температурному режимі досягає 75 %.

Теоретичний коефіцієнт перетворення ідеального теплового насоса розраховується по формулі Карно:

$$E = \frac{T_2}{T_2 - T_1} \quad (2.24)$$

де  $T_2$  – температура конденсації;

$T_1$  – температура кипіння холодильного агента, яка вимірюється в градусах Кельвіна.

Якби тепловий насос працював по ідеальному циклу, то при температурі кипіння +5 °С ( $T_1 = 278\text{K}$ ) і при температурі конденсації 55 °С ( $T_2 = 328\text{K}$ ) він міг би працювати з коефіцієнтом перетворення, рівним 6,56. Насправді коефіцієнт перетворення буде менше, оскільки повністю ідеальних теплових машин не буває.

Енергозбереження і ефективність використання теплонасосу в першу чергу залежить від того, звідки черпається низькотемпературне тепло, в другу – від способу опалювання будівлі (водою чи повітрям). Річ у тому, що тепловий насос працює як перевалочна база між двома тепловими контурами: одним, що гріє на вході (на стороні випарника) і другим, опалювальним, на виході (конденсатор).

Для опалення лабораторного корпусу найоптимальніше вибрати тепловий насос типу “повітря-вода”, так як вартість установки такого насоса набагато нижча за вартість монтажу геотермального теплового насоса. Це обумовлено тим, що немає необхідності бурити десятки свердловин або рити траншеї для укладання колекторів. Як правило вартість установки геотермального теплового насоса перевищує вартість самого насоса у декілька разів.

Установка теплового насоса повітря-вода передбачає установку зовнішнього блоку на вулиці і внутрішнього блоку усередині приміщення (рис. 2.27).

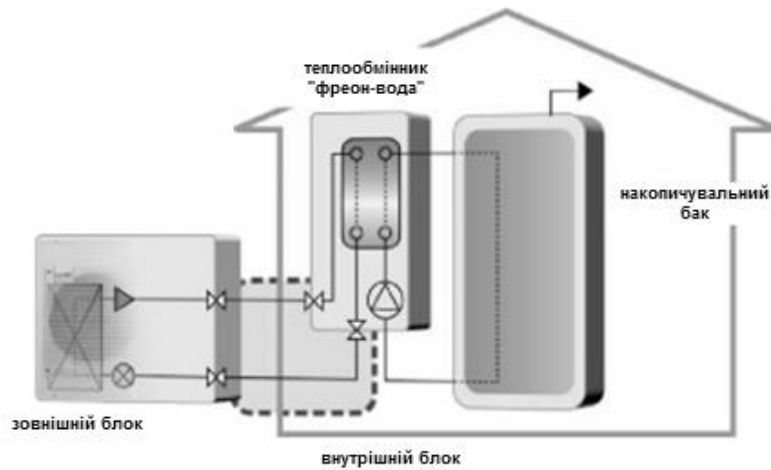


Рис. 2.27. Схема розміщення теплового насоса

*Джерело: узагальнено авторами*

До зовнішнього блоку підводять електроенергію. Внутрішній блок сполучають з системою опалювання і гарячого водопостачання.

Тепловий насос за допомогою випарного блоку з зовнішнього повітря витягується тепло (рис. 2.28).

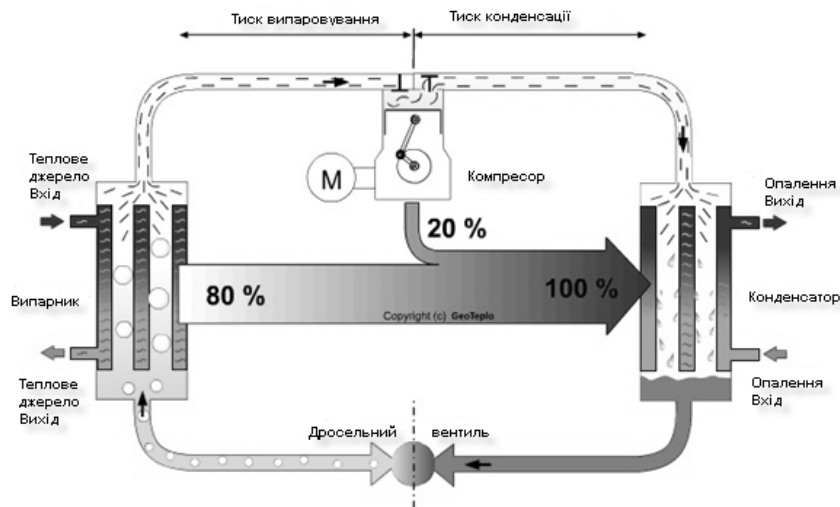


Рис. 2.28. Схема принципу роботи теплонасосної установки

*Джерело: узагальнено авторами*

Це тепло нагріває холодоагент, який скипає, переходячи в газоподібний стан. Потім компресор стискає цей газ, значно підвищуючи його температуру. Тепло стисненого газу передається в конденсатор (внутрішній блок), який знаходиться всередині приміщення в баці для нагріву води, яка подається в опалювальну систему. Конденсатор віддає тепло цій воді. Цей процес відбувається безперервно і контролюється автоматично до тих пір, поки не буде досягнута задана температура в приміщенні.

Тобто тепловий насос "повітря-вода" перетворює енергію з повітря вулиці в гарячу воду (теплосію), і направляє її в будівлю для опалювання і гарячого водопостачання. У відмінності від теплових насосів повітря/повітря – в системах повітря/вода тепло передається по будівлі за допомогою гарячої води, що дозволяє опалювати великі площі. Водяна система опалювання не шумить як повітряна, оскільки при водяній системі опалювання немає вентиляторів усередині будівлі. Не дивлячись на те, що всі пропонувані на ринку теплові насоси повітря-вода здатні задовільняти потребу в теплі, вибираємо по розрахунковим даним тепловий насос типу NIBE AP-BW30, який найекономічніший у використанні та значно знижує витрати на опалення (табл. 2.30).

Таблиця 2.28

Технічна характеристика теплового насоса NIBE AP-BW30

Модель теплового насоса NIBE	AP-BW30-37
Тепловая мощность/COP при B0/W35 (1 компрессор), кВт	37,2/4,80
Опалювальний контур, °C	20 – 57
Джерело тепла, °C	– 5 – 25
Додаткові робочі точки	B3/W65
Рівень звукового тиску на відстані 1 м від установки (на свільному просторі), дБ(А)	39
Рівень звукової потужності згідно EN12102, дБ	54
Підключення опалювального контуру	DN50 DIN2566
Підключення контуру росолу	DN50 DIN2566
Тип холодоагента	R410A
Напруга	3~/PE/400В/50Гц
Полосний автоматичний вимикач для теплового насоса	C32
Регулятор напруги	1~/N/PE/230В/50Гц
Автоматический выключатель, А	B16
Вага, кг	371
Довжина, мм	1350
Глибина, мм	912
Висота (включаючи корпус), мм	1030

Джерело: узагальнено авторами

На рис. 2.29 представлена принципіальна схема теплонасосної системи опалення з використанням низькотемпературного джерела енергії “повітря-вода” робота якої заключається в наступному: низькотемпературне джерело теплоти з температурою  $t_T^{BX}$  й об’ємною витратою  $V$  нагнітачем подається у випарник теплового насоса. У випарнику ТН теплоносій охолоджується і на виході його температура становить  $t_T^{BIX}$ . Опалюване приміщення має теплові втрати в навколишнє середовище  $Q_{OP}$ . Для їх компенсації використовується тепловий потік від конденсатора теплового насоса  $Q_K$  з температурою гріючого теплоносія  $t_K$  на вході в систему опалення.

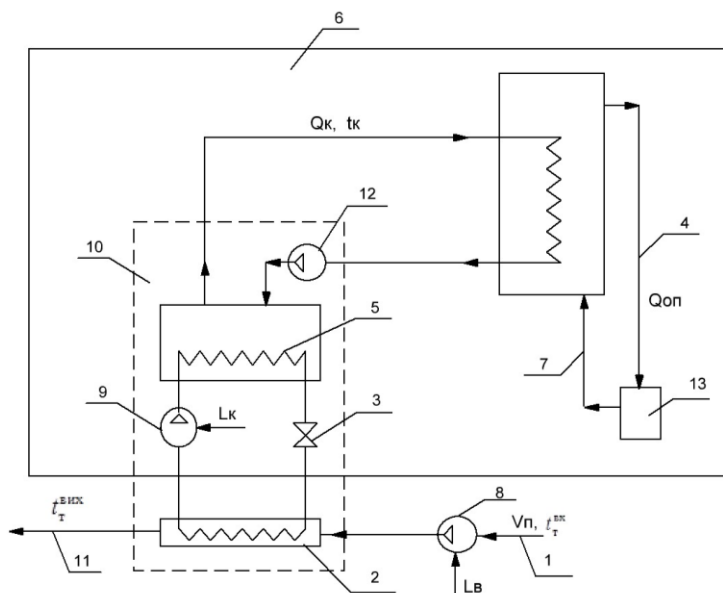


Рис. 2.29. Принципіальна схема теплонасосної системи опалення з використанням низькотемпературного джерела енергії:

- 1 – подача зовнішнього повітря на випарник теплового насоса; 2 – випарник; 3 – дросельний вентиль; 4 – підігріта вода, яка поступає в опалювальну систему приміщення; 5 – конденсатор; 6 – приміщення; 7 – охолоджена яка поступає з опалювальної системи; 8 – вентилятор; 9 – компресор; 10 – тепловий насос; 11 – охоложене повітря, що видаляється з випарника; 12 – насос; 13 – система опалення

Джерело: узагальнено авторами

При заданій тепловій потужності теплового насоса та температурі теплоносія в системі опалення, які визначаються самим об'єктом теплопостачання, температура теплоносія на виході з випарника теплового насоса  $t_T^{\text{вих}}$  є неоднозначною, оскільки кількість теплоти, відібраної від нижнього джерела енергії (атмосферного повітря, вентиляційних викидів, води, ґрунту), залежить як від різниці температур на вході та виході з випарника ТН, так і від витрати теплоносія. У зв'язку з тим, що затрати енергії на привід компресора ТН та на нагнітач при зміні температури теплоносія на виході з випарника ТН змінюються в протилежних напрямках, необхідно визначити оптимальний ступінь охолодження теплоносія нижнього джерела теплоти у випарнику теплового насоса (оптимальну глибину використання нижнього джерела енергії), якому відповідають мінімальні сумарні затрати енергії на систему опалення в цілому.

Створення нової енергоощадної технології автономного теплопостачання приміщень з використанням відновлювальних альтернативних джерел енергії (низькопотенційної теплоти атмосферного повітря) з використанням теплового насосу типу "повітря-вода" надає можливість комплексного вирішення проблеми теплопостачання лабораторного корпусу.

Ефективність роботи теплонасосних систем у звичай прийнято оцінювати величиною коефіцієнта трансформації ТН. Але для складних систем, ефективність роботи яких залежить не тільки від ефективності самого теплового насоса, а й від інших елементів системи, більш доцільно використовувати інші відносні характеристики, що визначають ефективність функціонування всієї теплонасосної системи опалення в цілому. Тому подальший аналіз проведено на основі визначення величини питомих затрат зовнішньої енергії на систему опалення, що в разі затрат енергії тільки на тепловий насос є величиною, оберненою до коефіцієнта трансформації ТН.

Переваги технологій, в яких використовуються теплові насоси в порівнянні з їх традиційними аналогами пов'язані не тільки зі значним зменшенням витрат енергії в системах теплопостачання, а також з екологічною чистотою та новими можливостями в області підвищення ступеня автономності систем теплопостачання.

Проведемо розрахунок порівняльної вартості для підігріву 1000 л води до температури 70 °С з використанням різного теплогенеруючого обладнання.

Кількість теплової енергії для підігріву  $t = 1000$  л рідини від початкової температури  $t_1 = 15$  °С до необхідної  $t_2 = 70$  °С визначається за формулою:

$$Q = m \cdot c \cdot (t_2 - t_1), \text{кВт} - \text{год} \quad (2.25)$$

де  $c$  – середня за період нагрівання питома теплоємність (для води  $c = 4,19$  кДж/кг °С =  $1,1 \cdot 10^{-3}$  кВт-год./л);

$t_2, t_1$  – кінцева і початкова температура нагрівання води;

Для визначення об'єму газу, який потрібно спалити для отримання визначеної кількості теплової енергії за формулою:

$$V = \frac{Q}{q_{\text{газ}} \cdot \eta_{\text{кг}} \cdot \eta_{\text{гвп}}}, \text{м}^3 \quad (2.26)$$

де  $q_{\text{газ}}$  – теплотворна здатність газу (9,6 кВт/м<sup>3</sup>);

$\eta_{\text{кг}}$  – ККД газового котла (0,9);

$\eta_{\text{гвп}}$  – ККД системи ГВП, що враховує втрати теплоти (0,8).

За експериментальними даними були обчислені середні питомі теплові втрати будівлі (табл. 2.26 та табл. 2.27) та встановлена економія теплової енергії при використанні теплового насосу типу "повітря-вода". Всі дані зведені до табл. 2.29 і табл. 2.30.

Таблиця 2.29

**Порівняльна вартість палива для підігрівання 1000 л води**

Вид палива	Вартість одиниці енергоносія, грн	ККД установки, %	Середня витрата палива на 1000 л води	Вартість палива на 1000 л води
Газ, м <sup>3</sup>	6,9579	0,85	8,75	60,88
Дрова, м <sup>3</sup>	400	0,85	0,045	18
Пеллети, кг	3,1	0,85	17,28	53,57
Вугілля, кг	2,43	0,85	12,5	30,38
Торфобрикети, кг	1,85	0,85	24,96	45,51
Електроенергія, кВт	1,68	0,85	60,5	101,64
Електроенергія теплового насоса, кВт	1,68	0,95	7,8	13,10

Джерело: узагальнено авторами

При впровадженні повнофункціональної системи опалювання і гарячого водопостачання на базі повітряного теплового насоса в порівнянні з газовим і іншими опалюваними установками переваги теплового насоса незаперечні (табл. 2.30). Тобто собівартість теплового насоса “повітря – вода” вище, ніж традиційної системи, що працює на органічному паливі, тому ТН забезпечує вииграш за часом окупності головним чином за рахунок енергетичної ефективності.

*Таблиця 2.30*

**Порівняння експлуатаційних витрат на різні види  
систем опалення на опалювальний сезон тривалістю 4728 год.**

Параметри	Електроко-тел DAKON PTE-37	Котел на дизельному паливі DAKON NM 45	Котел на природному газі BERETTA Fabula 35E CAI 90	Котел на зрідженому паливі 40 TLO	Тепловий насос NIBE AP-BW30
Вихідна теплова потужність, кВт	37,2	37	37,5	37,5	37,2
Вартість одиниці енергоносія	1,68 грн/кВт	26,92 грн/л	6,9579 грн/м <sup>3</sup>	12,34 грн/кг	1,68 грн/кВт
Споживання енергоносія	37,6 кВт/год.	4 л/год.	3,92 м <sup>3</sup> /год.	2,4 кг/год	4,8 кВт/год.
Вартість енергії (палива) за годину роботи, грн	63,17	107,68	27,27	29,62	8,1
Споживання енергоносія в опалювальний сезон	17777,2 кВт	18912 л	18533,76 м <sup>3</sup>	11347,2 кг	22694,4 кВт
Затрати на опалювальний сезон, грн	298658,3	509111,04	128956,05	140024,45	38126,59

*Джерело: узагальнено авторами*

Навіть за умови, що устаткування теплового насосу дорожче, але за рахунок істотної економії на платежах, ця різниця в капітальних витратах окупається дуже швидко – за декілька сезонів. А надалі залишається тільки найкомфортніша, найекономічніша по поточних витратах експлуатація теплового насоса.

Термін служби теплового насоса в кілька разів довше, ніж у газового або іншого устаткування. Причому надійність цих агрегатів на порядок вища.

Впровадження повітряного теплового насоса для опалювання лабораторного корпусу – ідеальний вибір для економії комунальних платежів і забезпечення комфортних умов в учбових приміщеннях.

Серед основних переваг теплового насосу слід виділити наступне:

– економічність – більш ефективне використання витраченої енергії в порівнянні з іншими опалювальними системами. Встановлено, що тепловий насос споживає 1 кВт електроенергії а виробляє до 5 кВт тепла [7]. Котли, які спалюють паливо або використовують електроенергію, споживаючи 1 кВт енергії палива або електроенергії виробляють максимум 0,95 кВт теплоти, залежно від ККД котла. В більшості випадків з врахуванням тепловтрат це менше 0,8 кВт;

– великий ресурс роботи. Теплові насоси володіють великим ресурсом роботи, який складає 25 – 40 років. При правильному підборі насосу і кваліфікованому монтажі устаткування теплового насосу прослужить довгі роки. Основним вузлом, який підлягає зносу є компресор, який при виході з ладу можна легко замінити;

– екологічність – оскільки в таких установках не відбувається процесу згорання, то, відповідно, в атмосферу не викидаються шкідливі гази та інші продукти згорання. Робоча рідина є озонобезпечною і не містить хлоровуглеців;

– надійність – це обумовлено тим фактом, що всі процеси відбуваються всередині герметичного замкнутого контура, який заздалегідь вакуумується. Замкнутий контур теплового насоса повітря-вода зроблений з міді, яка не втрачає своїх експлуатаційних властивостей з часом. Деталі і вузли теплового насоса не схильні до впливу процесів горіння, як у випадку з газовим або твердопаливним котлом і не контактують із зовнішнім середовищем і теплоносієм системи опалювання;

– універсальність – теплові насоси можна застосовувати не тільки для економічного опалення, але й для гарячого водопостачання. Крім того, вони можуть бути використані для охолодження повітря та вентиляції приміщень;

– автономна робота – для роботи теплового насосу “повітря-вода” необхідна тільки наявність електроенергії. Для його роботи непотрібно завантажувати паливо або підводити газову магістраль до котла;

– стабільна робота при низьких температурах. При низьких температурах ефективність роботи традиційних теплових насосів різко падає внаслідок зменшення потоку холодоагенту, який циркулює в системі. Щоб розв’язати цю проблему впроваджують абсолютно нову систему інжекційного вприскування в компресор, яка дозволила збільшити об’єм холодоагента в компресорі і добитися постійної теплової потужності навіть при низьких температурах;

– безпека – теплові насоси вогне- та вибухобезпечні, оскільки в них немає відкритого вогню, відпрацьованих газів або сумішей, ніякі частини пристрою не нагріваються до високих температур.

Теплові насоси – саме універсальне, багатофункціональне і енергоефективне устаткування для теплопостачання навчального корпусу, будинку, квартири, офісу або комерційного об'єкту.

Можна також забезпечити інтелектуальну систему керування з тижневим або добовим програмуванням, автоматичним перемиканням сезонних настройок підтримки температури в навчальному корпусі за рахунок економних режимів, управління підлеглим котлом або бойлером для підтримання оптимальної температури в найхолодніші дні, циркуляційним насосом, контролем температур в двох опалювальних контурах. Системи з інверторною технологією, які широко застосовані у Японії, мають порівняно з неінверторними системами на 30 % вищий COP при повному навантаженні і на 40 – 50 % вищий COP при частковому навантаженні. Інверторне управління роботою компресора, вентилятора, насоса дає можливість максимальної економії енергоспоживання.

Забезпечення теплопостачання учбових приміщень на основі технології з використання теплових насосів є найбільш ефективним. Так як такі системи мають високу енергетичну ефективність, екологічно безпечні, забезпечують автономність теплопостачання. Тепловий насос, на основі якого створюється автономна система теплопостачання, використовує спожиту енергію більш ефективно за будь-яких котлів, що працюють на спалюванні органічних палив.

Проаналізувавши всі переваги та особливості теплових насосів, можна стверджувати, що сучасні рішення теплових насосів не несуть загрозу для навколишнього середовища, а навпаки заміна ними традиційних джерел теплоти сприяє корисному впливу на нього.

Зменшенню споживання енергії на відміну з традиційними системами опалення буде сприяти проведення модернізації кожної окремої будівлі для зменшення теплових втрат і застосування альтернативних невичерпних джерел енергії для виробництва теплоти на підігрівання води та опалення приміщень. Аналіз світового досвіду показав, що ефективне енергозбереження та поширення застосування альтернативної енергетики стає можливим в першу чергу завдяки ефективній роботі теплових насосів.

Використання відновлювальних джерел енергії надає можливість обмежити використання традиційних палив, зменшити антропогенне навантаження на довкілля, покращити якість теплопостачання. Збільшення використання енергії альтернативних відновлювальних джерел складає важливу частину комплексу заходів, потрібних для дотримання Кіотського протоколу та Рамкової конвенції ООН про кліматичні зміни [9].

Дослідження представленої системи теплопостачання є актуальною задачею та спрямовано на визначення алгоритму максимально ефективної роботи джерела тепла при змінних погодних умовах та режимів експлуатації приміщень. Також розроблена система теплопостачання може виконувати інші призначення:

- вивчення студентами сучасної техніки систем теплопостачання;
- зменшення витрат енергоносіїв на теплопостачання навчального корпусу;
- проведення наукових досліджень спрямованих на розробку проектів та впровадження систем теплопостачання у комбінації із іншими джерелами енергії, наприклад сонячної енергії.

## Розділ 3

# ОЦІНКА, ЕНЕРГЕТИЧНИЙ АУДИТ ТА ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНІ АСПЕКТИ РОЗВИТКУ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ І ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ

### 3.1. Класифікація видів енергії в процесі виробництва продукції рослинництва

© **Калініченко О. В.**

*к.е.н., доцент, доцент кафедри економіки підприємства,  
Полтавська державна аграрна академія, м. Полтава, Україна*

Будь-яке виробництво – це процес споживання енергії. Якщо є придатні до використання джерела енергії, то виробництво можливе, у разі їх відсутності чи недостатньої кількості – неможливе взагалі.

Введення категорії “енергія” в різні галузі науки та практичної діяльності дає уявлення про усі явища природи та економічної системи як єдиного цілого.

Грецькою мовою слово “енергія” означає “внутрішня робота”. Термін “енергія” почав використовуватися понад 100 років тому, витіснивши терміни “жива сила” чи просто “сила”. Вперше новий термін ввів у своїх працях Т. Юнг (1807 р.) відносно до виразу “жива сила”. На протязі наступних десятиліть видатні фізики того часу Р. Майер, Г. Гельмгольц, Ж. Понселе, В. Томсон, Т. Юнг, Г. Кориоліс, Дж. Джоуль та інші по-різному трактували поняття “енергія”, наближаючись до сучасного розуміння енергії, енергетичних процесів [6, с. 126].

Енергія не тільки зберігається, але й перетворюється, і для якісно різних форм руху має місце специфічна міра. Під “енергією тіла” чи “системи тіл” розуміють кінцеву, однозначну та безперервну функцію стану, яка визначається сукупністю фізичних властивостей тіла чи системи тіл (взаємним розміщенням та швидкостями частин системи). При цьому безкінечно малим змінам етапу системи мають відповідати безкінечно малі зміни її енергії [6, с. 126].

Закон збереження та перетворення енергії був відкритий (1845 – 1848 рр.) незалежно один від одного Р. Майером, Дж. Джоулем та Г. Гельмгольцем. Менш узагальнено та менш доказово закон збереження був також сформульований датським інженером Л. А. Кольдінгом. Основна ідея закону, котра полягає в тому, що для всіх процесів в системі тіл має місце збереження величини, яка є мірою взаємодії та руху довільного виду, була висловлена С. Карно та М. Фарадеєм (20 – 30-і роки ХІХ ст.). Перетворення різних форм руху, наявність загальної міри їх доводили, що є і внутрішня єдність між різними процесами. Збереження енергії при довільних процесах в системі необхідно пов’язувати з тим, що зміни енергії, які мають місце при переході системи з одного (початкового) стану в інший (кінцевий), залежать тільки від цих станів, але не від шляху (способу) переходу, що може розглядатися як інше формулювання закону [1, с. 126].

У фізиці поняття “енергія” введено для загальної міри різноманітних форм руху матерії. Понад сто років тому був установлений фундаментальний закон фізики – закон збереження енергії, згідно з яким енергія не може зникнути чи з’явитися з нічого, вона може лише переходити з одного виду в інший. Теорія відносності А. Енштейна є розвитком уявлень І. Ньютона про простір, час та тяжіння. А. Енштейн установив взаємоперетворення енергії та маси, розширив рамки закону збереження енергії. Тепер цей закон формулюється в загальному випадку як закон збереження енергії та маси. Так, зменшення маси тіла чи системи тіл на 1 г призводить до виділення  $9 \cdot 10^{13}$  Дж енергії, що еквівалентно теплотворній здатності 3000 т умовного палива [6, с. 127].

У термодинаміці поняття “енергія”, “тепло” й “робота” є характеристиками того самого явища – руху матерії в різних її формах, величина якого згідно із законом збереження матерії й енергії за перетворення останньої в нову форму не змінюється [11, с. 26].

Однією з найскладніших відкритих термодинамічних систем є біосфера – збалансована, самоорганізована, відкрита термодинамічна система, яка здійснює вплив на розподіл енергетичних потоків на Землі. Безперервність процесів в біосфері забезпечується завдяки кругообігу речовин, інформації та сонячної енергії.

Поняття “енергія” у біосфері має багатоаспектний характер (табл. 3.1).

**Класифікація основних законів трансформації енергії у біосфері**

Закон	Характеристика
Односпрямованості потоку енергії	Енергія, яку одержує екосистема і яка засвоюється продуцентами, розсіюється, або разом з їх біомасою необоротно передається консументам першого, другого, третього та інших порядків, а потім редуцентам, що супроводжується втратою певної кількості енергії на кожному трофічному рівні в результаті процесів, які супроводжують дихання
Максимізації енергії	У конкуренції з іншими системами зберігається та з них, яка найбільше сприяє надходженню енергії та інформації й найефективніше використовує максимальну їх кількість
Максимуму біогенної енергії	Будь-яка біологічна та “біонедосконала” система з біотою, що перебуває у стані “стійкої нерівноваги” (динамічно рухливої рівноваги з довкіллям), збільшує, розвиваючись, свій вплив на середовище
Внутрішньої динамічної рівноваги	Енергія, речовина, інформація та динамічні якості окремих природних систем, їх ієрархії настільки пов’язані між собою, що будь-яка зміна одного з чинників зумовлює зміну інших. При цьому зберігається сукупна якість природної системи, оскільки під час зміни елементів природного середовища розвиваються ланцюгові реакції, які намагаються нейтралізувати ці зміни. Як наслідок, штучне зростання енергетичного потенціалу (як економічної характеристики великої екосистеми) обмежується термодинамічною стійкістю природних систем
Оптимальності	Ніяка система не може розширюватися або звужуватися до нескінченності, оскільки ніякий цілісний організм не може перевищити певні критичні розміри, що забезпечують підтримку його енергетики
Піраміди енергії	З одного трофічного рівня екологічної піраміди на інший переходить, в середньому, не більше 10 % енергії
Толерантності	Лімітуючим чинником процвітання організму може бути як мінімум, так і максимум екологічного впливу, діапазон між якими визначає міра чутливості (толерантності) організму до даного чинника. Тобто будь-який надлишок енергії чи речовини забруднює її
Зменшення енерговіддачі у природокористуванні	У процесі одержання з природних систем корисної продукції з часом (в історичному аспекті) на її виготовлення, у середньому, витрачається більше енергії (зростають питомі енергетичні витрати в розрахунку на одну людину)
Обмеженості природних ресурсів	Більшість освоєних природних ресурсів в умовах Землі є вичерпними

*Джерело: узагальнено автором за даними [1 с. 75 – 78; 3 с. 15 – 17; 4 с. 5]*

Трансформація енергії (перехід з однієї форми до іншої) у біосфері – здатність біологічних систем до здійснення роботи з подальшим відновленням. Основою трансформації енергії у біосфері є живі організми. При цьому частина енергії виділяється у навколишнє середовище у деградованому стані (у вигляді бідних на енергію кінцевих продуктів метаболізму або тепловій формі).

Отже, основні закони трансформації енергії у біосфері взаємопов’язані, тому неможливо змінити жоден елемент системи окремого агробіоценозу без переведення його в новий стан. В планетарному масштабі, будь-які окремі зміни можуть призвести до істотних змін у всій біосфері. Якщо зміни не критичні, то біосфера прагне до відновлення та збереження біорізноманіття, а отже, до диверсифікації енергетичної характеристики окремих елементів.

Первинним джерелом енергії є Сонце. Але безпосередньо сонячні промені нездатні нагріти будь-який об’єкт на поверхні Землі до високої температури. Сконцентрованість (потужність) сонячної енергії, що доходить до поверхні Землі, в середньому, не перевищує кВт/м<sup>2</sup>. Коефіцієнт корисної дії сонячної енергії, яка надходить на фотосинтез вуглеводу (глюкози) у листя чи траву рослини, не перевищує 1 %, а в деревину – лише 0,1 % [11, с. 29].

Отже, сонячна енергія, сконцентруючись у вищій енергетично якісній формі міжатомного зв’язку в деревині, втрачає 99,9 % первинної енергії, розсіюючи її ще в менш якісній формі. У свою чергу, в процесі карбонізації біологічна маса – деревина, втрачаючи половину сконцентрованої сонячної енергії, вже з коефіцієнтом 0,5, перетворює залишок енергії ще у більш концентровану її форму в мінеральних складових вугілля [11, с. 29].

Подальший напрямок процесу підвищення сконцентрованості сонячної енергії у вугіллі чи будь-яких похідних рослинної біомаси, що їх використовує сучасна економіка як енергоносії (торф, вугілля, нафта, газ), – це конверсія (взамоперетворення) їх внутрішньої енергії (питомої теплоти згоряння) в механічну роботу (енергію) парових турбін, двигунів внутрішнього згоряння чи у найвищу форму енергії – електричну (чверть від енергії вугілля). При цьому інтегрований коефіцієнт конверсії сонячної енергії в електричну становитиме 0,000125 (0,0125 %), отже, втрачено – 99,9875 %, але сконцентрованість її збільшилась у 8000 разів. Для отримання 1 Дж електричної енергії витрачається 8000 Дж сонячної [8, с. 218; 11, с. 29 – 30].



Коефіцієнт якості енергії (еквівалент):

$$K_c = \frac{E_c}{E_k}, \quad (3.1)$$

де  $K_c$  – коефіцієнт якості енергії, сонячних еквівалентів;

$E_c$  – сонячна енергія, яка надійшла на конверсію, Дж;

$E_k$  – енергія, отримана в процесі прямої чи послідовної конверсії сонячної енергії, Дж [8, с. 219; 11, с. 30].

Іншою, характеристикою якості енергії, є еквівалент умовного палива (у.п.):

$$K_{п} = \frac{K_c}{K_{с.у.п}}, \quad (3.2)$$

де  $K_{п}$  – ступінь концентрації енергії у данному виді палива відносно її концентрації в умовному паливі, у. п.;

$K_c$  – сонячний еквівалент даного виду (форми) енергії, Дж;

$K_{с.у.п.}$  – сонячний еквівалент умовного палива, Дж [11, с. 30].

Питома теплота згоряння умовного палива (так, як і якісного вугілля) становить 29,3 МДж/кг, а його сонячний еквівалент – 2000, звідки на утворення 1 кг вугілля витрачається  $29,3 \text{ МДж} \cdot 2000 = 5860 \text{ МДж} = 5,86 \text{ ГДж}$  сонячної енергії [11, с. 30].

Значення еквівалентів  $K_c$  і  $K_{п}$  для різних видів енергоносіїв наведено в табл. 3.2.

Таблиця 3.2

**Коефіцієнти якості енергії (еквіваленти) і конверсії (взаємоперетворення)**

Тип енергоносія	Сонячний еквівалент	Еквівалент умовного палива	Коефіцієнт технічної конверсії
Сонячне світло	1	0,0005	в електричну – до 0,1
Рослинна маса (дрова)	1000	0,5	
Викопне паливо			
Вугілля, нафта, газ (на умовне паливо)	2000	1	у теплову – до 0,6 у механічну – до 0,4 в електричну – до 0,5
Механічна енергія			
Потік падаючої води, припливів, вітру	6000	3	в електричну – 0,97
Електроенергія	8000	4	у механічну – 0,99

Джерело: [8, с. 219; 11, с. 31]

З енергетичної точки зору рослинництво є сукупністю енергетичних факторів, головними серед яких виступають антропогенна енергія, сонячна енергія та енергетичний потенціал ґрунту. При цьому провідна роль відводиться саме антропогенному фактору [7, с. 38].

У процесі засвоєння поживних речовин та сонячної енергії рослини синтезують біомасу – новий енергоносіє, який може бути вихідним джерелом біологічної енергії (корми, органічні добрива, насіння тощо), теплової енергії (дрова, солома, рослинні рештки тощо), матеріалом для виробництва енергоресурсів (біогаз, метиловий та етиловий спирт). Частка сонячної енергії у загальному енергобалансі рільництва складає близько 97 % [10, с. 40].

За своїми біологічними особливостями різні види рослин мають неоднакову здатність засвоювати кінетичну енергію сонця і мають різну енергетичну цінність.

Показник, який характеризує ефективність використання сонячної енергії рослинами, – фотосинтетична сонячна радіація (ФАР) – це енергія червоної ділянки спектра сонячного випромінювання з довжиною хвилі 0,65 – 0,75 мкм, що поглинається пігментами хлорофілу. ФАР, що бере участь у фотосинтезі, становить близько 40 % і варіює в широтах України від 38,5 до 41 % загальної сонячної енергії [2, с. 12].

Енергію ФАР, що надходить до посівів сільськогосподарських культур визначають:

$$E_{\text{ФАР}} = \frac{E_{\text{ФАР.вп}} \alpha T_{\text{вп}}}{T_{\text{вп}}}, \quad (3.3)$$

де  $E_{\text{ФАР}}$  – енергія ФАР, що надходить до посівів сільськогосподарських культур, МДж/га;

$E_{\text{ФАР.вп}}$  – енергія ФАР за вегетативний період ( $\geq 10^\circ\text{C}$ ) – 1441,4, ( $\geq +5^\circ\text{C}$ ) – 1634,1 МДж/га;

$\alpha$  – поправочний коефіцієнт на крутизну й експозицію схилу (для схилів західної і східної експозиції з нахилом до  $5^\circ$  суми радіації практично дорівнюють сумам на горизонтальну поверхню);

$T_{\text{вп}}$  – вегетаційний період, дні;

$T_{\text{вп}}$  – період вегетації сільськогосподарської культури, дні [2, с. 12].

Коефіцієнт використання ФАР:

$$K_{\text{ФАР}} = E_{\text{в}} \frac{100}{E_{\text{ФАР}}}, \quad (3.4)$$

де  $K_{\text{ФАР}}$  – коефіцієнт використання ФАР, %;

$E_{\text{в}}$  – енерговміст урожаю, МДж/га;

$E_{\text{ФАР}}$  – енергія ФАР за вегетаційний період, МДж/га [2, с. 13].

У врожаї сільськогосподарських культур накопичену енергію визначають:

$$E_{\text{в}} = V_{\text{оп}} \cdot E_{\text{воп}} \cdot 100 + V_{\text{пп}} \cdot E_{\text{впп}} \cdot 100, \quad (3.5)$$

де  $E_{\text{в}}$  – енерговміст урожаю, МДж/га;

$E_{\text{воп}}$  – питомий енерговміст урожаю основної продукції, МДж/кг;

$E_{\text{впп}}$  – питомий енерговміст урожаю побічної продукції, МДж/кг;

$V_{\text{оп}}$  – урожай основної продукції, ц/га;

$V_{\text{пп}}$  – урожай побічної продукції, ц/га [2, с. 28].

Для визначення кількості зосередженої у рослинній біомасі енергії може використовуватись вимірник “кормова одиниця”. Для розрахунку за цим показником усі складові урожаю переводяться в кормові одиниці (1 кг вівса), які перемножуються на енергетичний еквівалент 1 кг вівса:

$$E_{\text{в}} = (V_{\text{оп}} \cdot K_{\text{к.од.}} + V_{\text{пп}} \cdot K_{\text{к.од.}}) E_{\text{к.од.}}, \quad (3.6)$$

де  $V_{\text{оп}}$  – урожай основної продукції, ц/га;

$K_{\text{к.од.}}$  – коефіцієнт перерахунку в кормові одиниці;

$V_{\text{пп}}$  – урожай побічної продукції, ц/га;

$E_{\text{к.од.}}$  – енерговміст кормової одиниці, Дж [2, с. 30].

У процесі виробництва продукції рослинництва енергія живої праці, поновлювана (природна) та неоновлювана (штучна) енергії трансформуються в енергію, що акумулюється в продукції рослинництва (рис. 3.1).

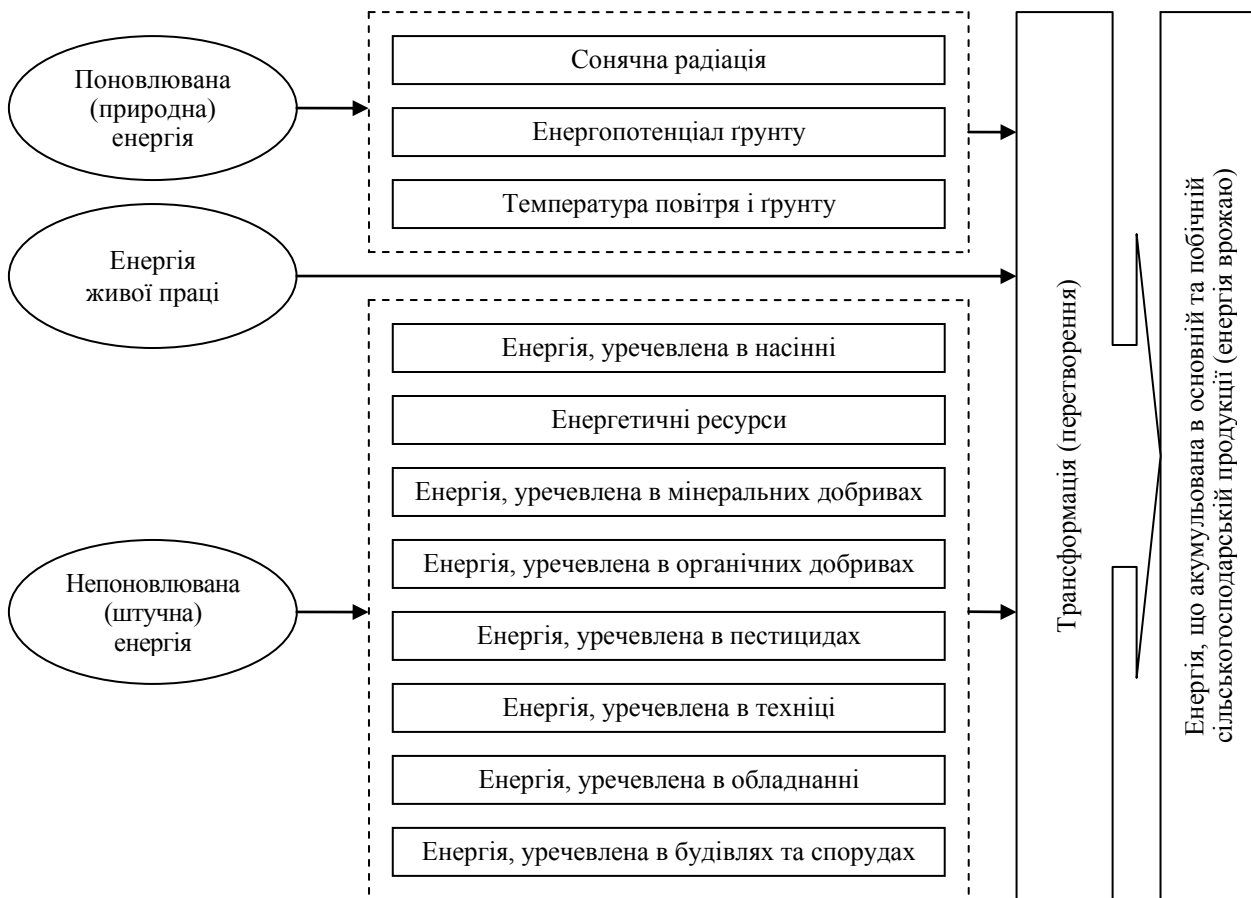


Рис. 3.1. Класифікація видів енергії в процесі виробництва продукції рослинництва  
Джерело: авторська розробка [5, с. 88]

Між величиною сукупних витрат енергії та ефективністю виробництва продукції рослинництва існує тісний зв'язок, що обмежується, здебільшого, екологічними параметрами. Це обумовлено тим, що в процесі виробництва продукції має місце рух матерії, загальною мірою якого є енергія.

При цьому слід враховувати, що матеріалізоване вираження енергії може мати три основні прояви (рис. 3.2). При застосуванні класичних оціночних підходів, енергію як актив можна розглядати в ресурсному (згідно із витратним підходом), результативному (за дохідним підходом) та порівняльному аспектах..

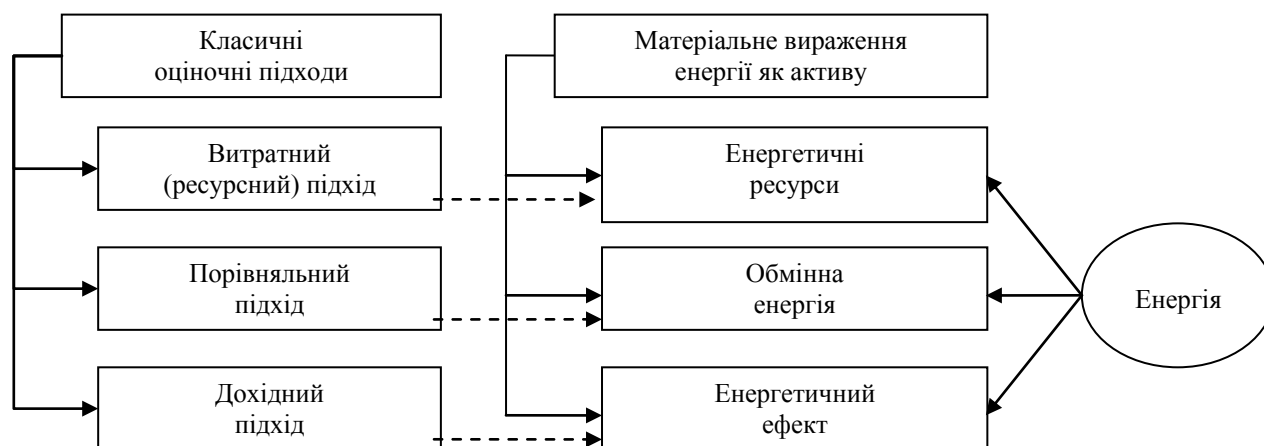


Рис. 3.2. Класифікація енергії як активу відповідно до застосування оціночних підходів  
Джерело: авторська розробка [5, с. 88]

Виробництво продукції рослинництва визначається на основі енергетичних еквівалентів, що дає змогу всі види праці й матеріально-технічні засоби (техніку – у кілограмах маси, живу працю – людино-годинах, витрати палива – у кілограмах, використання електроенергії – у кіловат-годинах, заробітну плату – у гривнях) привести до єдиного показника – джоуля, і за допомогою нього визначити активну частину кожного елемента, фактора родючості у технологічному процесі, його вклад у формування врожаю [9, с. 81 – 82].

Енергетичний еквівалент прямих витрат – це енергія, що виділяється при згорянні одиниці маси або обсягу енергоносія, і енергія, витрачена на видобуток, переробку та транспортування цієї одиниці маси або обсягу.

Енергетичний еквівалент непрямих витрат – це енергія, витрачена на всіх етапах виробництва, переробки, транспортування, зберігання одиниці кожного виду витрат на відтворення оборотних та основних засобів.

Енергетичний еквівалент в розрахунку на 1 люд.-год. праці поєднує прямі витрати енергії (витрати праці) і витрати енергії на соціально-побутові та навчальні комплекси. Вони диференціюються професіональними групами працівників.

Використання енергетичних еквівалентів потребує постійного уточнення, – враховувати сучасні вітчизняні й зарубіжні технології та засоби виробництва.

Отже, енергія – це узагальнена міра руху матерії. Вона є не об'єктом чи явищем, а є лише його характеристикою. Енергія не виникає та не зникає з нічого, а лише переходить з однієї форми до іншої (трансформується). Поняття “енергія” пов’язує всі явища природи та економічної системи. Первинним джерелом енергії всього живого є Сонце. Енергію можна виробляти, передавати, споживати, а також вимірювати її кількість.

У процесі виробництва продукції рослинництва використовуються такі види енергії: поновлювана (сонячна енергія, енергопотенціал ґрунту, температура повітря і ґрунту); неоновлювана (енергетичні ресурси; енергія, уречевлена в мінеральних та органічних добривах, пестицидах; енергія, уречевлена в насінні; енергія, уречевлена в техніці та обладнанні; енергія, уречевлена в будівлях та спорудах); енергія живої праці.

### 3.2. Особливості енергоспоживання в рослинництві

© Калініченко О. В.

к.е.н., доцент, доцент кафедри економіки підприємства,  
Полтавська державна аграрна академія, м. Полтава, Україна

Рослинництво є однією з пріоритетних галузей національної економіки України. Сприятливі природно-кліматичні умови разом із географічними, транспортними й соціально-економічними чинниками визначають особливості сільського господарства як споживача та виробника енергії. Водночас, упродовж тривалого часу екстенсивний тип господарювання аграрної сфери спричинює

недостатнє використання потенціалу галузі рослинництва, що зумовлено високим рівнем ресурсо- та енерговитрат. Тому підвищення енергетичної ефективності аграрної сфери національної економіки України потребує удосконалення шляхів та засобів використання енергії при виробництві сільськогосподарської продукції.

Виробництво продукції рослинництва – це процес генерування, розподілу та споживання енергії, уречевленої в чинниках виробництва.

Рослинництво є галуззю сільськогосподарського виробництва, в якій відбувається перманентний процес перетворення поновлюваної енергії (фотосинтетична сонячна радіація, енергопотенціал ґрунту, температура повітря і ґрунту), непоновлюваної енергії (енергетичні ресурси – бензин, дизельне паливо, електроенергія; енергія, уречевлена в мінеральних та органічних добривах, пестицидах; енергія, уречевлена в насінні; енергія, уречевлена в техніці та обладнанні; енергія, уречевлена в будівлях та спорудах) та енергії живої праці на потенційну енергію органічної речовини [7, с. 303].

Енергетична ефективність в рослинництві досягається шляхом оптимізації сукупних витрат енергії у розрахунку на одиницю продукції рослинництва без погіршення її якості за найменшого негативного впливу на навколишнє середовище. Необхідною умовою при цьому є забезпечення структурного перерозподілу енергії на “вході” операційної системи рослинництва з максимальним використанням поновлюваної та раціональним використанням непоновлюваної енергії у готову продукцію на “виході”.

Найбільш широко використовуваним показником, за яким визначають рівень енергетичної ефективності виробництва продукції рослинництва, є енергомісткість. Вона характеризує відношення сукупних витрат енергії на виробництво продукції рослинництва до валової продукції рослинництва. Тобто величина енергомісткості відображає ступінь раціональності використання сукупних витрат енергії у процесі створення валової продукції рослинництва.

Підгалузі рослинництва мають значні відмінності у рівні енергомісткості. Зумовлено це їх технологічними особливостями, які мають вирішальний вплив на використання засобів і предметів праці та енергетичну ефективність виробництва продукції. Серед вказаних особливостей слід виділити наступні групи: 1) біокліматичні умови; 2) рівень розвитку технологій виробництва; 3) технічне забезпечення; 4) організаційно-економічні чинники (рис. 3.3).

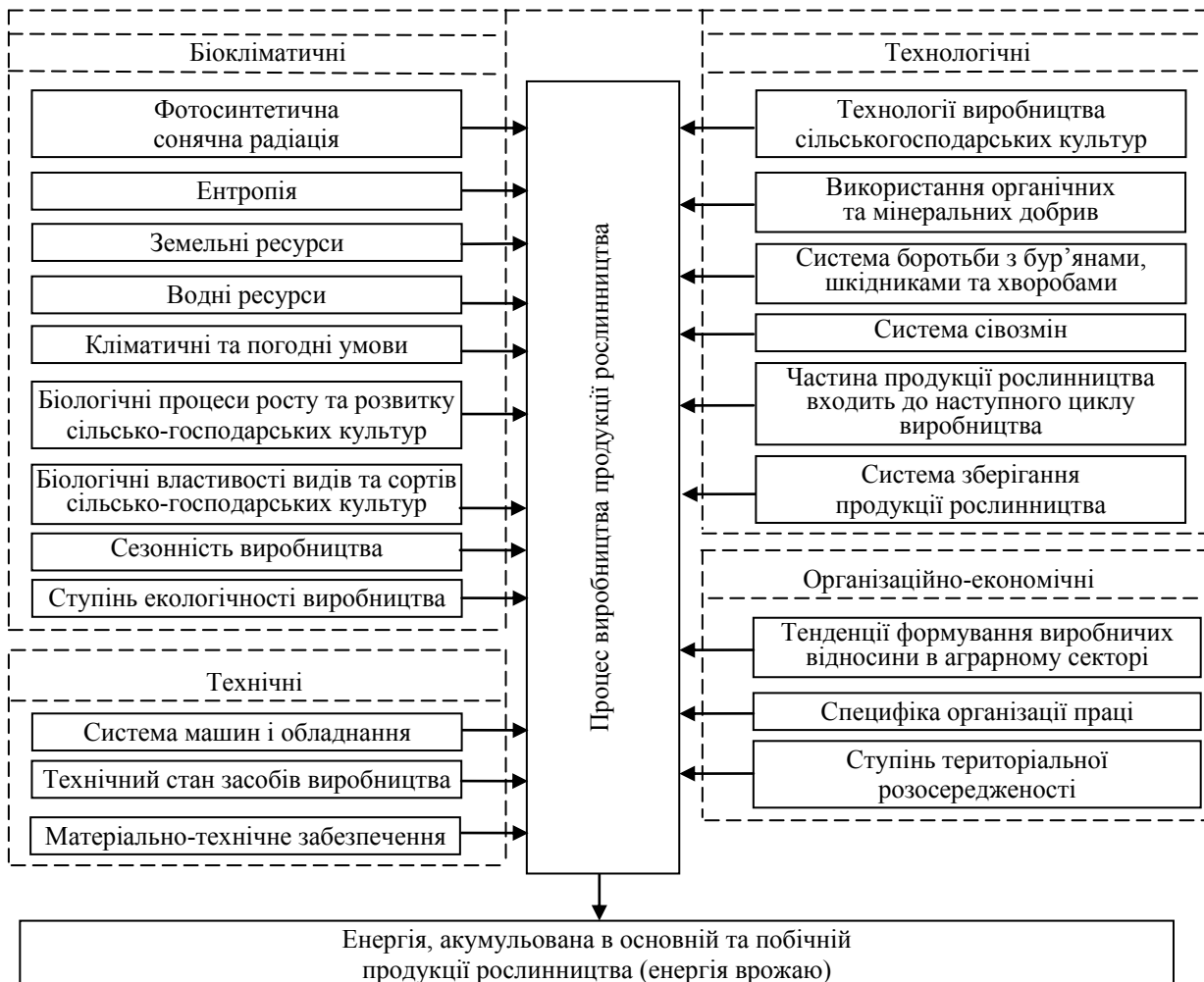


Рис. 3.3. Особливості енергоспоживання в процесі виробництва продукції рослинництва  
Джерело: авторська розробка [5, с. 15]

Першою особливістю є те, що одним із головних джерел енергії для сільськогосподарських культур є фотосинтетична сонячна радіація (ФАР), оскільки 90 – 95 % біомаси становлять органічні речовини, які утворюються в процесі фотосинтезу. Питома вага ФАР у фотосинтезі сільськогосподарських культур становить 45 – 60 % та варіює в природно-кліматичних зонах України від 38,5 до 41 % загальної сонячної радіації. Обсяг ФАР за вегетативний період становить 1441,4 – 1671,1 МДж/га [1, с. 26 – 27; 2, с. 12; 11, с. 33]. Чим більша тривалість вегетаційного періоду сільськогосподарської культури, тим ефективніше рослина споживає ФАР та нагромаджує органічні речовини. При цьому нормативні витрати ФАР на утворення 1 ц сухої органічної речовини становлять 1676 МДж [11, с. 34 – 35].

Другу особливість енергоспоживання в рослинництві становить суттєвий вплив ентропії (міра невизначеності, необоротності процесу), яка знецінює вільну до споживання енергію. Якщо енергія є мірою здатності біологічних систем до здійснення корисної роботи, то ентропія є мірою того, наскільки ця здатність знецінилася або втрачена.

Рослинництво є відкритою природно-виробничою системою, яка створена з метою одержання якісної продукції за рахунок використання відновлюваної здатності енергетично-ресурсного потенціалу компонентів ландшафту [1, с. 16, 276]. Така агроєкосистема отримує енергію та інформацію із зовнішнього середовища та накопичує її у вигляді сполук – носіїв енергії. При цьому ентропія агроєкосистеми знижується, енергія використовується для здійснення корисної роботи. Однак, частина її розсіюється у просторі, не здійснюючи корисної роботи.

Рослинництво як відкрита агроєкосистема споживає енергії менше, ніж генерує її в навколишнє середовище. Оскільки усі процеси, які протікають при виробництві сільськогосподарських культур, носять необоротний характер, то ентропія збільшується. Чим більшою є величина ентропії, тим більш ймовірно є необоротність усіх процесів. При цьому частина енергії виділяється у навколишнє середовище у деградованому стані (у вигляді бідних на енергію кінцевих продуктів метаболізму або тепловій формі) [9, с. 124].

Третя особливість енергоспоживання в рослинництві – особлива роль земельних ресурсів – незамінного засобу виробництва, який, на відміну від інших засобів виробництва, є одночасно предметом та засобом праці. Земельні ресурси просторово обмежені, тобто є абсолютно немобільним (непереміщуваним) засобом та не зношуються, а при раціональному використанні – покращують свої корисні властивості (родючість ґрунту, основою якого є достатній вміст гумусу). Так, в 1 т гумусу запаси внутрішньої енергії становлять 16760 – 23045 МДж [11, с. 38]. Земельні ресурси, володіючи механічними, фізичними, хімічними та біологічними властивостями, є середовищем розвитку рослин. Різні ділянки земельних ресурсів мають неоднакову родючість ґрунту, в результаті чого існує можливість отримувати додаткову продукцію за рахунок розміщення виробництва на більш продуктивних земельних масивах [4, с. 115; 7, с. 117]. Збільшення обсягів виробництва продукції рослинництва забезпечується за рахунок інтенсифікації використання земельних ресурсів, що потребує збільшення витрат непоновлюваної енергії на одиницю продукції.

Четверта особливість – незамінним елементом виробництва є вода, яка є складовою частиною гідросфери, всіх живих організмів, у вигляді пари міститься в атмосфері та входить до складу ґрунту. Бере участь у всіх біохімічних і хімічних процесах (перетвореннях). Сільськогосподарські культури містять 40 – 98 % води за масою [1, с. 36]. Водні ресурси безпосередньо беруть участь у створенні продукції рослинництва (на 1 ц врожаю витрачається 400 – 600 ц води), що збільшує її вартість та енергомісткість. Використання природних гідрометеорологічних ресурсів сприяє збільшенню продукції рослинництва й покращенню її якості та зменшенню витрат непоновлюваної енергії.

П'ята особливість – результати виробництва залежать від кліматичних та погодних умов. Кліматичні умови за зонами (Полісся, Лісостеп, Степ) є відносно незмінними, що визначає оптимальний вибір основних сільськогосподарських культур для вирощування, які повинні бути адаптовані до умов середовища. Найбільш інтенсивно фотосинтез у сільськогосподарських культурах перебігає при температурі понад 20 – 25 °С. При температурі понад 30 – 35 °С процес сповільнюється, а при температурі 40 – 45 °С – фотосинтез припиняється. За рівних сукупних енергетичних витрат продуктивність виду та сорту в різних температурних поясах змінюється [1, с. 34; 10, с. 74]. Тому розміщення сільськогосподарських культур має відповідати біологічним властивостям рослин та температурному поясу, що дає можливість максимально використовувати поновлювану енергію. Це сприяє підвищенню врожайності, посиленню екологічної стійкості (здатності рослин протистояти екстремальним температурам) та зменшенню витрат непоновлюваної енергії. Погода є мінливим і малопередбачуваним явищем для відносно тривалого періоду. Це впливає на здійснення технологічних операцій, які виконуються в рослинництві. За несприятливої погоди ускладнюється процес виробництва, змінюється склад операцій та система машин і агрегатів, обсяги робіт й тривалість виробничих циклів. Це збільшує вартість та енергомісткість виробництва продукції рослинництва. При цьому знижується рівень якості продукції рослинництва. За сприятливої погоди підвищується врожайність і покращується рівень якості продукції рослинництва, що дає можливість оптимізувати витрати непоновлюваної енергії та зменшити енергомісткість.

Шоста особливість – залежність виробництва продукції рослинництва від біологічних процесів росту та розвитку сільськогосподарських культур (вегетативного циклу). Тому календарний робочий період не збігається з періодом виробництва. Використання засобів виробництва, матеріалів і сировини має сезонний характер, оскільки в життєвому циклі сільськогосподарських культур є проміжки часу, коли біологічний процес розвитку здійснюється без безпосередньої участі людини, а продукція рослинництва формується в кінці цього циклу. Це суттєво обмежує виробничий процес певними часовими інтервалами.

Сьома особливість – залежність виробництва продукції рослинництва від біологічних властивостей видів та сортів сільськогосподарських культур, які мають різну врожайність (неоднакова здатність акумулювати ФАР) та різну енергетичну цінність. Так, найвищий вміст енергії в продукції мають цукрові буряки – 127871,1 МДж/га, озима пшениця – 107194 МДж/га та кукурудза на зерно – 106206,9 МДж/га. Найменший вміст енергії в продукції має люцерна на сіно – 16372,5 МДж/га.

Крім того, сільськогосподарські культури потребують різних витрат енергії. Так, сукупні енергетичні витрати на виробництво цукрових буряків становлять 44203,5 МДж/га, озимої пшениці – 34456,4 МДж/га та гороху – 21709,7 МДж/га [8, с. 154]. Ефективна форма організації сільськогосподарського виробництва з урахуванням природних та економічних умов зони дає можливість збільшити виробництво продукції рослинництва, підвищити продуктивність праці, знизити енергомісткість одиниці продукції та забезпечити оптимальне ресурсо- і енергоспоживання.

Восьма особливість – залежність виробництва продукції рослинництва від сезонності – призводить до інтенсивного використання системи машин і знарядь у рослинництві, а також впливає на неспівпадіння у часі надходження промислових товарів та вивезення продукції рослинництва. Потребує додаткових витрат праці. Це спричиняє нерівномірне використання непоновлюваної енергії та енергії живої праці протягом року.

Дев'ята особливість – залежність результатів виробництва від ступеня порушення екологічності виробництва, спричиненого негативним впливом виробництва (забруднення водного і повітряного басейнів; забруднення ґрунтів, їх підкислення; погіршення агрохімічних властивостей ґрунтів; порушення колообігу поживних речовин; погіршення фітосанітарного стану посівів) на природні процеси та умови життя людини (погіршує якісний стан життєвого простору). На даний час 90 % продуктів харчування мають рослинне походження від 12 видів сільськогосподарських культур, що сприяє розповсюдженню хвороб рослин, які поступово послаблюють природну та штучну (використання хімічних засобів) стійкість сільськогосподарських культур (5 – 10 років). Надмірна розораність земельних угідь призводить до зниження рівня ґрунтових вод та погіршення якості питної води, а також сприяє розвитку ерозійних процесів, зниженню біологічної активності ґрунтів та їх природної родючості. Це зумовлює збільшення витрат непоновлюваної енергії, зокрема, енергії, уречевленої в насіннєвому матеріалі (додаткові витрати на генний матеріал).

Десята особливість – результати виробництва залежать від технологій виробництва сільськогосподарських культур. Останні, в свою чергу, залежать від біологічних особливостей росту, розвитку та сортових відмінностей окремих сільськогосподарських культур та циклу виробництва (короткостроковий – до 100 днів, середньостроковий – 101 – 250, довгостроковий – понад 251 днів). Сукупні енергетичні витрати на виробництво сільськогосподарських культур залежать від обраного складу системи машин із різними параметрами енергомісткості відповідно до кількості й характеру технологічних операцій. Із застосуванням прогресивних технологічних процесів енергія, що накопичена в урожаї, зростає більшими темпами, ніж сукупні енергетичні витрати. Тому технології виробництва сільськогосподарських культур повинні включати послідовність операцій, підібраних так, щоб витрати всіх ресурсів (паливно-мастильних матеріалів, насіння, добрив, гербіцидів, праці) були оптимальними для одержання запланованого рівня врожайності та якості з дотриманням енергетичних, економічних та екологічних вимог.

Застосування молекулярної біології, селекції, генетики та генної інженерії в рослинництві дає можливість зменшити забруднення навколишнього середовища, витрати води та непоновлюваної енергії. Крім того, це дає можливість одержувати додаткову продукцію у вигляді нових трансгенних сільськогосподарських культур із заданими властивостями, засобів захисту сільськогосподарських культур; виробництва і збагачення кормів, кормових добавок; прискореного розмноження елітних сільськогосподарських культур, одержання безвірусного посадкового матеріалу; у перспективі – адаптувати отриману біомасу для подальшої переробки на етанол, біогаз, екологічно чисті полімерні матеріали тощо.

Одинадцята особливість – результати виробництва залежать від використання органічних та мінеральних добрив, позитивна дія яких на родючість ґрунту триває кілька років. Витрати щодо застосування добрив розподіляють за роками (органічні добрива: 1-й рік – 50 %; 2-й рік – 20 – 25 %; 3-й рік – 10 – 15 %; 4-й і 5-й роки – 5 – 10 %; мінеральні добрива: фосфорні і калійні – 1-й рік – 60 %; 2-й рік – 40 %; азотні – 100 % у 1-й рік застосування) пропорційно виносу поживних речовин сільськогосподарськими культурами. Слід враховувати те, що лише органічні добрива збагачують ґрунт гумусом (підвищують родючість ґрунту). Це безпосередньо впливає на збільшення врожайності сільськогосподарських культур (до 60 – 75 %), а також на поліпшення якості продукції рослинництва (вміст білка в зерні, крохмалю – в картоплі, олії – в насінні соняшнику, цукру – в цукрових буряках тощо), що рівнозначно залученню у господарське використання додаткових земельних площ. Зазначене вимагає додаткових витрат непоновлюваної енергії на гектар посіву сільськогосподарських культур, які мають обмеження (великі дози добрив, які за межею оптимальних доз внесення – недоцільні, призводить до зменшення врожаю та зниження природного енергетичного потенціалу). Як наслідок, – збільшується енергомісткість виробництва продукції рослинництва.

Дванадцята особливість – результати виробництва залежать від застосування інтегрованих (агротехнічних, хімічних та біологічних) методів захисту посівів сільськогосподарських культур від бур'янів, шкідників і хвороб та забезпечує збереження врожаю (близько 30 %). На величину майбутнього врожаю суттєвий вплив здійснюють дози регуляторів росту сільськогосподарських культур, що дозволяє рослині більш інтенсивно поглинати поживні речовини та посилює процеси фотосинтезу. Останнє дозволяє зменшити витрати енергії, уречевленої в пестицидах, та сприяє підвищенню врожайності. Проте, слід враховувати, що хімічні засоби захисту сільськогосподарських культур негативно впливають на навколишнє середовище (непередбачувані зміни екосистем через порушення екологічних зв'язків).

Тринадцята особливість – результати виробництва залежать від розміщення посівів у сівозміні. Чергування сільськогосподарських культур і парів у часі передбачає щорічну або періодичну зміну одних сільськогосподарських культур іншими на даному полі, а чергування на території означає, що кожна сільськогосподарська культура і пар проходять через усі сівозміни. Дотримання чергування сільськогосподарських культур дає можливість забезпечити їх елементами органічного і мінерального живлення в потрібній кількості, оптимізувати витрати праці та непоновлюваної енергії, що призводить до збільшення врожайності та підвищенню родючості ґрунту без додаткових матеріальних вкладень.

Чотирнадцята особливість – частина продукції рослинництва (близько 20 %) входить до наступного циклу виробництва (насіння). Недостатня забезпеченість насіннєвим матеріалом або його низька якість призводить до зменшення обсягу виробництва продукції рослинництва, порушує оптимальні межі його відтворення, а надмірне витрачання – знижує ефективність виробництва. Це зумовлює особливості раціонального формування основних і оборотних засобів. Урожайність сільськогосподарських культур можна підвищити більш як на 10 % та зменшити витрати непоновлюваної енергії на 15 % за рахунок використання високоврожайних сортів, які мають високий адаптивний потенціал. Так, наприклад, при вирощуванні гібриду іноземної селекції Крокодил забезпечується найвищий рівень урожайності цукрових буряків – 560 ц/га, що уможливило отримання найбільшого енергетичного ефекту, а саме: біологічна цукристість – 17,1 %, енергомісткість цукру в цукрових буряках, вироблених на площі 1 га, – 3009 МДж/ц, значення коефіцієнту енергетичної ефективності – 3,765 (високий рівень енергетичної ефективності). Проте, найменшу енергомісткість цукру в цукрових буряках, можна отримати при вирощуванні гібриду цукрових буряків Ворскла селекції Веселоподолянської та Ялтушівської дослідно-селекційних станцій, а саме – 2962 МДж/ц. Урожайності цукрових буряків цього сорту становить 539 ц/га, біологічна цукристість – 17,9 %, значення коефіцієнту енергетичної ефективності – 3,654 (високий рівень енергетичної ефективності) [6, с. 35].

П'ятнадцята особливість – продукція рослинництва, як правило, не може довго зберігатись без втрати своєї маси та якості. Величина втрат залежить від особливостей виду та сорту, параметрів середовища і тривалості зберігання. Сучасні способи зберігання продукції рослинництва передбачають сполучення штучного холоду з примусовою та активною вентиляцією, регульованих та модифікованих газовим середовищем, регульованим тиском, використання різноманітних пакувальних матеріалів, обробку хімічними препаратами. Можливість попередити погіршення фізичних і хімічних властивостей забезпечує також рівномірне споживання протягом року різних видів продукції рослинництва. Це потребує додаткових витрат непоновлюваної енергії на зберігання продукції рослинництва (склади, елеватори, сховища, машини і устаткування) та формування партій вантажів (розвиток логістики).

Шістнадцята особливість – результати виробництва залежать від використання системи машин, значна кількість яких залучається до виконання операцій протягом короткого строку в період пікової

напруженості сільськогосподарських робіт (збирання і транспортування врожаю, підготовка ґрунту під озими сільськогосподарські культури, сівба, внесення органічних та мінеральних добрив, проведення зяблевої оранки). Крім того, значна кількість машин одночасно бере участь у виробництві кількох сільськогосподарських культур, а також зазнає значних простоїв під час вантажно-розвантажувальних робіт. Це призводить до зниження рівня технічної справності машин, ускладнення оптимізації системи машин та потребує додаткових витрат непоновлюваної енергії. Впровадження енергоефективної системи машин (нових конструкцій машин і знарядь), оптимізація їх складу і структури позитивно позначається на дотриманні строків та якості виконання технологічних операцій при виробництві сільськогосподарських культур, що дає можливість зменшити енергомісткість на 20 – 50 %, витрати праці – на 35 – 50 %.

Сімнадцята особливість – експлуатація системи машин часто відбувається у несприятливих умовах, енергетично неефективних режимах. Подібні умови спостерігаються як у процесі виробництва, так і при зберіганні у зимовий період. Також спостерігається тенденція до фізичного зношення системи машин та скорочення машинно-тракторного парку, що призводить до зростання простоїв системи машин з технічних причин і, як результат, – до порушення технологій і термінів виконання сільськогосподарських робіт. Це веде до зменшення врожайності та обсягів виробництва продукції рослинництва, а також додаткових витрат на відновлення системи машин. Дотримання належного технічного стану системи машин сприяє економії матеріальних ресурсів та зменшенню витрат непоновлюваної енергії.

Вісімнадцята особливість – забезпечення ефективності процесу виробництва продукції рослинництва неможливе без налагодженої організації матеріально-технічного забезпечення. Потрібно забезпечувати більш продуктивну систему машин (нових конструкцій машин, знарядь та інструментів) та матеріальних ресурсів, які необхідні для проведення усього циклу технологічних операцій (основний обробіток ґрунту, передпосівний обробіток ґрунту та сівба, догляд за посівами, збирання та транспортування врожаю) в оптимальні агротехнічні строки. При цьому слід враховувати ґрунтово-кліматичні умови й географічні зони України та спеціалізацію виробництва продукції рослинництва. Це сприяє повному використанню природного і виробничого потенціалу галузі рослинництва та підвищенню продуктивності праці.

Дев'ятнадцята особливість – тенденції формування виробничих відносин в аграрному секторі визначають можливості ресурсного забезпечення, економіко-виробничі умови господарювання, що може по-різному впливати на енергетичну ефективність та результати господарсько-фінансової діяльності. Це впливає на оптимальні розміри сільськогосподарських землекористувань, ступінь раціональності використання системи машин і знарядь та логістичного забезпечення виробництва продукції рослинництва.

Двадцята особливість – залежність виробництва продукції рослинництва від наявності компетентних кадрів, специфіки організації праці. Витрати праці (розумової і фізичної) – це процес перетворення одного виду енергії в інший шляхом впливу на предмет праці через управління засобами праці. Трудові ресурси у сільському господарстві замінюють частину біологічних процесів небіологічними. Персонал аграрних підприємств формується та змінюється під впливом внутрішніх (характер продукції, технології та організації виробництва) і зовнішніх чинників (демографічні процеси, юридичні та моральні норми суспільства, кон'юнктура ринку праці тощо).

Двадцять перша особливість – залежність виробництва продукції рослинництва від територіальної розосередженості, що призводить до значного обсягу перевезень вантажів та пробігів транспорту у незавантаженому стані при його поверненні. Транспортні витрати в структурі прямих експлуатаційних витрат складають 40 % і більше [3, с. 231]. Із збільшенням розмірів землекористування підприємства збільшується відстань внутрішньогосподарських перевезень. Із зменшенням розмірів підприємства зменшуються площі робочих земельних ділянок. Водночас, при виконанні основних польових робіт застосовується значна кількість системи машин і знарядь, що призводить до збільшення витрат пального на одиницю площі.

Отже, енергоспоживання у рослинництві визначається дією чотирьох груп особливостей сільськогосподарського виробництва: 1) біокліматичними умовами (сонячна радіація; ентропія; земельні ресурси; водні ресурси; кліматичні та погодні умови; біологічні процеси росту та розвитку сільськогосподарських культур; біологічні властивості видів та сортів сільськогосподарських культур; сезонність виробництва; екологічність виробництва); 2) рівнем розвитку технологій виробництва продукції рослинництва (технології виробництва сільськогосподарських культур; використання органічних та мінеральних добрив; система боротьби з бур'янами, шкідниками та хворобами; система сівозмін; частина продукції рослинництва входить до наступного циклу виробництва; система зберігання продукції рослинництва); 3) технічним забезпеченням (система машин і обладнання; технічний стан засобів виробництва; матеріально-технічне забезпечення); 4) організаційно-економічними чинниками (тенденції формування виробничих відносин у аграрному секторі; специфіка організації праці; територіальна розосередженість). Усі складові тісно взаємозв'язані та взаємозалежні між собою.



**3.3. Методика оцінки енергетичної ефективності виробництва продукції рослинництва**

© Калініченко О. В.

*к.е.н., доцент, доцент кафедри економіки підприємства,  
Полтавська державна аграрна академія, м. Полтава, Україна*

Сучасне виробництво продукції рослинництва в Україні характеризується високим рівнем механізації виробничих процесів. Це вимагає залучення переважно вичерпних матеріальних та енергетичних ресурсів, вартість яких постійно збільшується. Вказана обставина, в свою чергу, потребує розробки нових підходів щодо оцінки рівня енергетичної ефективності виробництва продукції рослинництва.

Енергетична оцінка сільськогосподарського виробництва, на відміну від вартісної, дає можливість визначати результативність здійснених витрат незалежно від кон'юнктури ринку та інфляції.

Енергетична оцінка є надійною методологічною базою при порівняльній оцінці ефективності використання природних ресурсів, енергетичних витрат та отриманої енергетичної цінності різних видів сільськогосподарської продукції. Вона дозволяє розробляти науково обгрунтовані, ресурсо- та енергозберігаючі технології з раціональним використанням природних ресурсів, а також порівнювати альтернативи їх застосування.

Енергетична оцінка виробництва продукції рослинництва проводиться для визначення ступеня використання засобів виробництва, сонячної радіації, ґрунтово-кліматичних умов та інших чинників, що впливають на урожайність сільськогосподарських культур, дозволяє встановити екологічно допустимі межі енергонавантаження на одиницю земельної площі.

У сільськогосподарському виробництві категорія “енергетична ефективність” відображає співвідношення між обсягом виробництва сільськогосподарської продукції, що відповідає чинним стандартам якості, та величиною сукупних витрат енергії за умови дотримання вимог охорони навколишнього середовища.

Енергетична ефективність в рослинництві досягається шляхом оптимізації сукупних витрат енергії у розрахунку на одиницю продукції рослинництва без погіршення якості за найменшого негативного впливу на навколишнє середовище.

Рівні енергетичної ефективності виробництва продукції рослинництва дозволяють оцінити раціональне використання природного і ресурсного потенціалу галузі рослинництва на рівнях аграрного підприємства, району, області.

При цьому слід розрізняти наступні рівні енергетичної ефективності виробництва продукції рослинництва:

- 1) неефективний – накопичення сукупної енергії в продукції рослинництва у кількості, що не перевищує величину сукупних енергетичних витрат на виробництво;
- 2) низький – накопичення сукупної енергії в продукції рослинництва у кількості, що дорівнює або незначною мірою перевищує величину сукупних енергетичних витрат на виробництво;
- 3) середній – накопичення сукупної енергії в продукції рослинництва у кількості, що перевищує величину сукупних енергетичних витрат на виробництво;
- 4) високий – накопичення сукупної енергії в продукції рослинництва у кількості, що значно перевищує величину сукупних енергетичних витрат на виробництво (рис. 3.4).

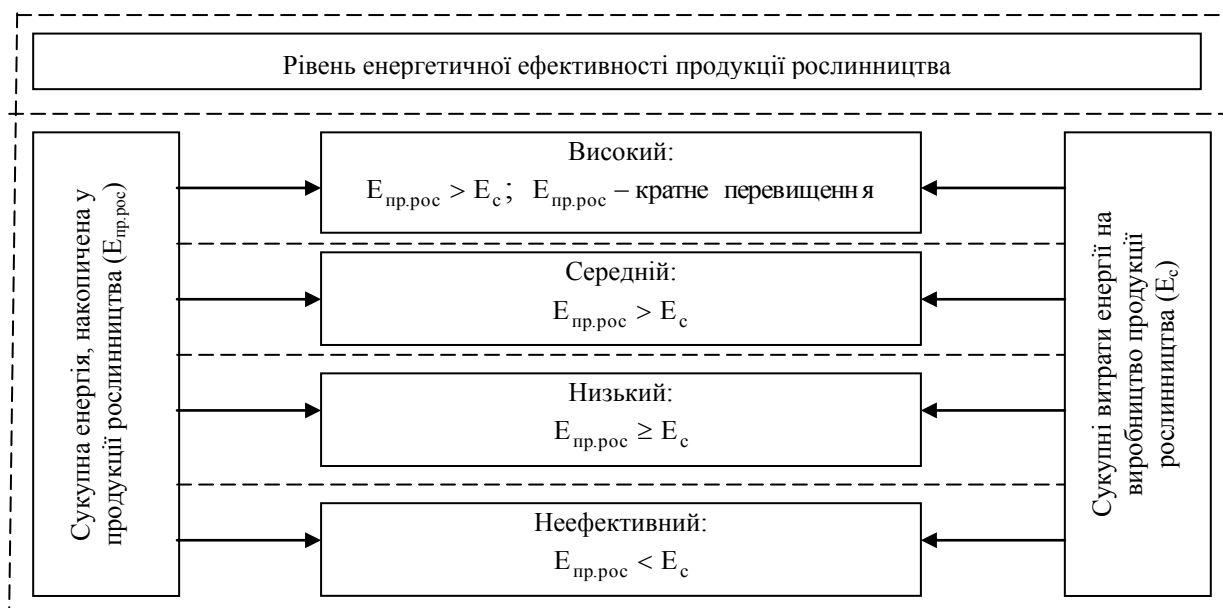


Рис. 3.4. Класифікація рівнів енергетичної ефективності виробництва продукції рослинництва  
Джерело: авторська розробка [5, с. 152]

Для оцінки рівня енергетичної ефективності виробництва продукції рослинництва пропонується використовувати систему показників, які характеризують об'єкт, технологічний процес та кінцеву сільськогосподарську продукцію: прямі енергетичні витрати; непрямі енергетичні витрати; сукупні енергетичні витрати; сукупна енергія, накопичена в продукції рослинництва; енергетичний прибуток виробництва продукції рослинництва; енергетична рентабельність продукції рослинництва; коефіцієнт енергетичної ефективності виробництва продукції рослинництва; енергомісткість виробництва продукції рослинництва; енерговіддача виробництва продукції рослинництва [4, с. 129 – 130].

Прямі енергетичні витрати на виробництво продукції рослинництва враховують енергетичні витрати на рівнях їх придбання (залучення), безпосередньо виробничого процесу та реалізації:

$$E_{\text{пр}} = \sum_{i=1}^n (E_{\text{di}} + E_{\text{mi}} + E_{\text{zi}} + E_{\text{ui}}), \quad (3.7)$$

де  $E_{\text{пр}}$  – прямі енергетичні витрати на виробництво продукції рослинництва, МДж;

$E_{\text{di}}$  – витрати енергії, уречевленої у паливно-мастильних матеріалах, електроенергії, МДж;

$E_{\text{mi}}$  – витрати енергії, уречевленої в насінні, мінеральних та органічних добривах, засобах захисту рослин, МДж;

$E_{\text{zi}}$  – витрати енергії живої праці, МДж;

$E_{\text{ui}}$  – витрати енергії, уречевленої в основних засобах виробництва, МДж.

Непрямі енергетичні витрати на виробництво продукції рослинництва визначаються як сукупність витрат енергії управлінського та обслуговуючого персоналу, засобів на забезпечення діяльності вказаної категорії працівників, на обслуговування виробничої та соціальної інфраструктури:

$$E_{\text{нпр}} = \sum_{i=1}^n (E_{\text{si}} + E_{\text{yi}} + E_{\text{di}}), \quad (3.8)$$

де  $E_{\text{нпр}}$  – непрямі енергетичні витрати, МДж;

$E_{\text{si}}$  – витрати енергії управлінського та обслуговуючого персоналу, МДж;

$E_{\text{yi}}$  – витрати енергії на засоби утримання управлінського та обслуговуючого персоналу, МДж;

$E_{\text{di}}$  – витрати енергії на обслуговування виробничої та соціальної інфраструктури, МДж.

Сукупні енергетичні витрати на виробництво продукції рослинництва:

$$E_{\text{с}} = E_{\text{пр}} + E_{\text{нпр}}, \quad (3.9)$$

де  $E_{\text{с}}$  – сукупні енергетичні витрати на виробництво продукції рослинництва, МДж;

$E_{\text{пр}}$  – прямі енергетичні витрати на виробництво продукції рослинництва, МДж;

$E_{\text{нпр}}$  – непрямі енергетичні витрати, МДж/га.

Сукупна енергія, накопичена в продукції рослинництва, визначається шляхом переведення обсягу виробленої продукції рослинництва (врожаю) в абсолютно суху речовину з урахуванням її енергетичної цінності:

$$E_{\text{пр.рос}} = \sum_{i=1}^n \text{ОВ}_{\text{пр}_i} \cdot K_{\text{пр}_i} \cdot e_{\text{пр}_i} \cdot 100 + \text{ОВ}_{\text{пр.пп}_i} \cdot K_{\text{пр.пп}_i}, \quad (3.10)$$

де  $E_{\text{пр.рос}}$  – сукупна енергія, накопичена в продукції рослинництва, МДж;

$\text{ОВ}_{\text{пр}_i}$  – обсяг виробленої продукції  $i$ -го виду (врожайність), ц;

$K_{\text{пр}_i}$  – коефіцієнт переведення виробленої продукції  $i$ -го виду в суху речовину;

$e_{\text{пр}_i}$  – вміст енергії в 1 кг сухої речовини, МДж;

$\text{ОВ}_{\text{пр.пп}_i}$  – обсяг виробленої побічної продукції  $i$ -го виду, ц;

$K_{\text{пр.пп}_i}$  – коефіцієнт переведення виробленої побічної продукції  $i$ -го виду в суху речовину;

$n$  – кількість видів продукції.

Енергетичний прибуток виробництва продукції рослинництва розраховується як різниця між сукупною енергією, накопиченої в продукції рослинництва, що приведена до стандартної вологості та сукупними енергетичними витратами на виробництво продукції рослинництва:

$$\text{Пр}_e = E_{\text{пр.рос}} - E_{\text{с}}, \quad (3.11)$$

де  $\text{Пр}_e$  – енергетичний прибуток виробництва продукції рослинництва, МДж;

$E_{\text{пр.рос}}$  – сукупна енергія, накопичена в продукції рослинництва, МДж;

$E_{\text{с}}$  – сукупні витрати енергії на виробництво продукції рослинництва, МДж.

Енергетична рентабельність продукції рослинництва – відсоткове відношення енергетичного прибутку до сукупних витрат енергії на виробництво продукції рослинництва:

$$P_e = \frac{Pr_e}{E_c} \cdot 100\%, \quad (3.12)$$

де  $P_e$  – енергетична рентабельність продукції рослинництва, %;

$Pr_e$  – енергетичний прибуток виробництва продукції рослинництва, МДж;

$E_c$  – сукупні витрати енергії на виробництво продукції рослинництва, МДж.

Даний показник характеризує енергетичну ефективність сукупних витрат енергії, ступінь перевищення кінцевого результату порівняно з обсягом використаних ресурсів у енергетичному еквіваленті.

Коефіцієнт енергетичної ефективності виробництва продукції рослинництва розраховується як співвідношення кількості енергії, яка міститься у виробленій продукції рослинництва до кількості неповновленої енергії витраченої на її виробництво:

$$K_{ee} = \frac{E_{пр.рос}}{E_c}, \quad (3.13)$$

де  $K_{ee}$  – коефіцієнт енергетичної ефективності виробництва продукції рослинництва;

$E_{пр.рос}$  – сукупна енергія, накопичена у продукції рослинництва, МДж;

$E_c$  – сукупні витрати енергії на виробництво продукції рослинництва, МДж.

Якщо  $K_{ee} < 1$  – виробництво неефективне; 1 – 1,5 – низький рівень ефективності; 1,5 – 2,5 – середній рівень ефективності;  $K_{ee} > 2,5$  – високий рівень енергетичної ефективності.

Енергомісткість виробництва продукції рослинництва визначається як відношення сукупних витрат енергії на виробництво продукції рослинництва до валової продукції рослинництва (обернений показник до енерговіддачі):

$$EM_{рос} = \frac{E_c}{ВП_{рос}}, \quad (3.14)$$

де  $EM_{рос}$  – енергомісткість виробництва продукції рослинництва, МДж/грн.;

$E_c$  – сукупні витрати енергії на виробництво продукції рослинництва, МДж;

$ВП_{рос}$  – валова продукція рослинництва, грн.

Енерговіддача виробництва продукції рослинництва – відношення валової продукції рослинництва до сукупних витрат енергії на виробництво продукції рослинництва:

$$EB_{рос} = \frac{ВП_{рос}}{E_c}, \quad (3.15)$$

де  $EB_{рос}$  – енерговіддача виробництва продукції рослинництва, грн./МДж;

$ВП_{рос}$  – валова продукція рослинництва, грн.;

$E_c$  – сукупні витрати енергії на виробництво продукції рослинництва, МДж.

Різні галузі рослинництва внаслідок техніко-технологічних відмінностей та біологічних властивостей видів і сортів сільськогосподарських культур відрізняються між собою своєю енергомісткістю.

Проведена енергетична оцінка технологій виробництва основних сільськогосподарських культур (зона Лісостепу) свідчить, що найвищий вміст енергії в продукції мають цукрові буряки – 127871,1 МДж/га, озима пшениця – 107194 МДж/га, кукурудза на зерно – 106206,9 МДж/га, ячмінь – 82456,9 МДж/га, горох – 70931 МДж/га, сояшник – 53339,4 МДж/га, гречка – 50120,7 МДж/га, конюшина на зелений корм – 23056,1 МДж/га, люцерна на сіно – 16372,5 МДж/га. Крім того, сільськогосподарські культури мають різні сукупні витрати енергії. Так, величина сукупних енергетичних витрат на виробництво цукрових буряків становить 44203,5 МДж/га, озимої пшениці – 34456,4 МДж/га, гороху – 21709,7 МДж/га, на виробництво сояшнику та ячменю – 20349,9 МДж/га і 16386,3 МДж/га відповідно. Виробництво гречки та кукурудзи на зерно – 14208,5 МДж/га і 13705 МДж/га. Конюшина на зелений корм та люцерна на сіно мають найменший показник питомих енергетичних витрат – 9390,7 і 4468,6 МДж/га відповідно.

Найбільший енергетичний прибуток може бути отриманий у результаті виробництва кукурудзи на зерно – 92501,9 МДж/га, цукрових буряків – 83667,6 МДж/га, озимої пшениці – 72737,6 МДж/га та ячменю – 66070,6 МДж/га.

Високого рівня енергетичної ефективності ( $K_{ee} = 3,53 - 7,75$ ) можливо досягти при виробництві кукурудзи на зерно, ячменю, люцерни на сіно та гречки. А також гороху, озимої пшениці, цукрових буряків та сояшнику ( $K_{ee} = 2,62 - 3,27$ ). Середній рівень енергетичної ефективності ( $K_{ee} = 2,46$ ) досягається у результаті виробництва конюшини на зелений корм.

Найбільш енергомістким є виробництво люцерни на сіно та конюшини на зелений корм – 8,71 і 7,04 МДж/грн. (енерговіддача 0,11 та 0,14 грн./МДж) відповідно. При виробництві озимої пшениці, гороху та ячменю – 5,16, 5,11 і 3,44 МДж/грн. (0,19, 0,2 та 0,29 грн./МДж), соняшнику та цукрових буряків – 2,39 і 2,26 МДж/грн. (0,42 та 0,44 грн./МДж) відповідно. Найменш енергомісткими є кукурудза на зерно та гречка – 1,83 і 1,32 МДж/грн. (0,55 та 0,76 грн./МДж) відповідно (табл. 3.3).

Таблиця 3.3

**Оцінка енергетичної ефективності виробництва основних  
сільськогосподарських культур в Україні (зона Лісостепу), 2016 р.**

Сільськогосподарські культури	Урожайність, ц/га	Постійні ціни на сільськогосподарську продукцію (2010 р.), грн./ц	Валова продукція рослинництва, грн./ц	Сукупна енергія, накопичена в основній продукції урожаю, МДж/га	Сукупні енергетичні витрати в розрахунку на 1 га посівної площі, МДж/га	Енергетичний прибуток, МДж/га	Енергетична рентабельність, %	Коефіцієнт енергетичної ефективності ( $K_{ee}$ )	Енергомісткість, МДж/грн.	Енерговіддача, грн./МДж
Озима пшениця	65,0	102,75	6678,75	107194,0	34456,4	72737,6	311,1	3,11	5,16	0,19
Ячмінь	50,0	95,40	4770,0	82456,9	16386,3	66070,6	503,2	5,03	3,44	0,29
Кукурудза на зерно	70,0	107,27	7508,9	106206,9	13705,0	92501,9	775,0	7,75	1,83	0,55
Горох	40,0	106,23	4249,2	70931,0	21709,7	49221,3	326,7	3,27	5,11	0,2
Гречка	30,0	357,69	10730,7	50120,7	14208,5	35912,2	352,8	3,53	1,32	0,76
Цукрові буряки	500,0	39,14	19570,0	127871,1	44203,5	83667,6	289,3	2,89	2,26	0,44
Соняшник	30,0	284,21	8526,3	53339,4	20349,9	32989,5	262,1	2,62	2,39	0,42
Люцерна на сіно	30,0	17,11	513,3	16372,5	4468,6	11903,9	366,4	3,66	8,71	0,11
Конюшина на зелений корм	350	3,81	1333,5	23056,1	9390,7	13665,4	245,5	2,46	7,04	0,14

*Джерело: розраховано автором [5, с. 152]*

Запропонована система показників оцінки енергетичної ефективності виробництва продукції рослинництва дозволяє здійснити порівняння та оцінити різні технології виробництва, обрати оптимальний варіант раціонального використання як матеріальних, так і нематеріальних ресурсів.

Застосування вказаних методичних засад також забезпечує можливість здійснення експрес-аналізу енергетичної ефективності виробництва сільськогосподарських культур, що не залежить від зміни невиробничих чинників, передусім політичних, регуляторно-правового впливу на національну економіку України (податкова, монетарна, протекціоністська політика уряду), коливань ринкової кон'юнктури.

#### **3.4. Методичні підходи до еколого-економічної оцінки збитків від деградації земель з врахуванням основних факторів енергоємності їх родючості**

© Кузнєцова Т. В.

*к.е.н, професор, професор кафедри економіки підприємства,  
Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне, Україна*

© Подлевська О. М.

*к.е.н, доцент, доцент кафедри економіки підприємства,  
Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне, Україна*

© Стахів Я. А.

*ст. викладач кафедри землеустрою, кадастру, моніторингу земель та геоінформатики,  
Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне, Україна*

Аграрне природокористування має певну специфіку, яка впливає з того, що агропромислове виробництво в цілому, і сільське господарство зокрема є складним утворенням, яке безпосередньо бере участь у певних біотехнологічних і біохімічних циклах біологічного відтворення з метою задоволення потреб людини в продуктах харчування та середовищі існування. Із зростанням антропогенного впливу сучасна втрата якісних характеристик ґрунту відбувається швидше ніж будь-коли раніше в людській історії.

Деградація земель – це спрощення ландшафту та зниження його стійкості проти зовнішніх впливів. Деградації земель передують деградація ґрунтів. Під деградацією ґрунтів розуміють негативні зміни ґрунтової родючості, які базуються на таких факторах природної родючості, як вміст гумусу, структура,

будова профілю й щільність, гранулометричний та хімічний склад, водно-повітряний та температурний режими ґрунту, а також характер рослинності й мікробіологічної активності. Зміни (одного або кількох із них) призводять до зростання навантаження на ґрунти та прискорення його руйнування [1].

Вжиті землекористувачами заходи, з огляду на невідповідність їх рівня обсягам забруднень, не здатні повною мірою забезпечити землеохоронну діяльність, а необхідний для цього моніторинг не проводиться через недостатність, а іноді і повну відсутність фінансування. Тому еколого-економічна ситуація у сфері земельних відносин, землекористування, землеустрою та охорони земель залишається складною і потребує невідкладних заходів з її поліпшення [3].

Ґрунтознавці стверджують, що виснажений ґрунт у майбутньому потребуватиме значно більших витрат для відтворення його продуктивної сили. Оцінка обсягу завданих збитків і коштів для відновлення деградованих земель є важливою з огляду на необхідність уже нині покласти відповідальність за наслідки від виснажливого землеробства на суб'єктів господарювання [6].

За даними наукових досліджень ННЦ "Інститут ґрунтознавства та агрохімії ім. О. Н. Соколовського НААН" [4], найпоширенішими та небезпечними видами деградації земельних ресурсів є дегуміфікація (втрата гумусу й поживних речовин). Дегуміфікація ґрунтів різного ступеня становить біля 43 % площі земельних угідь України.

В останні роки обсяги внесення органічних добрив почали різко зменшуватися, і їх кількість складає всього 0,6 – 1,1 т/га, що привело до зниження вмісту гумусу (табл. 3.4).

Таблиця 3.4

**Внесення мінеральних та органічних добрив у ґрунт сільськогосподарськими підприємствами Рівненської області, 2000 – 2016 рр.**

Показники	2000 р.	2005 р.	2007 р.	2008 р.	2009 р.	2010 р.	2011 р.	2012 р.	2013 р.	2014 р.	2015 р.	2016 р.
<b>Мінеральні добрива</b>												
Внесено під посіви сільськогосподарських культур – усього, тис.ц	133,5	187,3	245,5	297,1	224,5	216,2	299,9	300,4	302,4	306,3	297,2	358,2
Частка удобреної площі, відсотків	39,9	55,9	65,5	71,2	63,2	62,1	78,6	79,0	80,1	82,3	85,3	83,5
Внесено на 1 га посівної площі, кг	31	69	103	116	89	89	124	127	126,8	127	119	144
<b>Органічні добрива</b>												
Внесено під посіви сільськогосподарських культур – усього, тис.т	1059,1	424,7	388,4	344,3	285,4	220,8	182,3	139,5	185,6	192,1	244,0	281,2
Частка удобреної площі, відсотків	5,8	4,9	5,2	3,9	4,1	5,6	4,4	3,6	4,8	5,2	5,9	6,9
Внесено на 1 га, посівної площі т	2,5	1,6	1,6	1,3	1,1	0,9	0,8	0,6	0,9	0,8	1,0	1,1

Джерело: [2]

Фізична сутність збитків від деградації ґрунтів полягає у втраті їх основної якісної ознаки – родючості – через водну і вітрову ерозії, зміни в складі ґрунтів, перенасичення ґрунтів водою і збільшення її об'ємної маси, зниження вмісту гумусу і погіршення його якості тощо. Збиток внаслідок зменшення родючості ґрунтів є прямим збитком від деградації ґрунтів, для його оцінки якого необхідно виділити загальні та річні втрати родючості ґрунту на незахищених сільськогосподарських угіддях.

Загальним прямим фізичним збитком від деградації ґрунтів слід вважати втрату споживчої вартості земель за всі роки їхнього нетехнологічного сільськогосподарського використання. Вихідні дані для розрахунку цього збитку можна отримати з матеріалів обстеження ґрунтів сільськогосподарського призначення.

Сутність економічного поняття прямого збитку (загальнорічного) від деградації ґрунтів визначається кількісною оцінкою вартості визначальної якісної ознаки ґрунтів – родючості, яка робить землю основним засобом виробництва у сільському господарстві.

Природні ресурси (зокрема земельні) не можна називати безкоштовними благами природи, оскільки на їхнє відтворення витрачається жива праця. І навіть у тому разі, якщо земля є цілиною (без затрат праці на її обробіток), вона – важливий природний ресурс і повинна мати вартість, яку доцільно окреслити величиною затрат майбутньої праці на відновлення родючості та початкових властивостей ґрунтів при їх втраті.

Необхідність такого підходу до оцінки земель впливає також із аналізу процесу виробництва. Якщо в результаті виробництва певна частина землі знищується, вона повинна бути відновлена. У протилежному випадку виснаження землі може набути критичних розмірів і її доведеться вилучити із сільськогосподарського обігу.

Отже, відновлення виснажених деградованих земель є об'єктивно необхідною умовою процесу розширеного відтворення сільськогосподарської продукції. Оскільки для природного відновлення родючості ґрунтів потрібний час, який вимірюється століттями, а реальної заміни ґрунту поки що не знайдено, то при втраті у процесі виробництва будь-якої частини свого родючого потенціалу він потребує відновлення штучними способами. Це може бути реалізовано лише через продуктивне застосування сучасних технологій і технічних засобів, хімічних і біологічних методів, що, безумовно, потребуватиме певних капітальних вкладень та поточних виробничих витрат. Тому є правильним оцінювати землю за величиною витрат живої та уречевленої праці на її відтворення, для визначення повних витрат на відновлення деградованих земель найбільш правильним є показник приведених витрат.

Витрати на відновлення родючості ґрунтів збільшують споживчу вартість землі. Споживча вартість – це свого роду потенційна родючість, яка визначає майбутню можливість збільшення врожаю.

Відтак змістом економічної оцінки збитків від погіршення якості ґрунтів є визначення вартості витрат, яких зазнає суспільство в разі її погіршення як природного ресурсу – основного засобу виробництва продуктів харчування. Для того, щоб визначити приведені витрати ( $C_{пр}$ ) необхідно, як відомо, до прямих експлуатаційних витрат ( $C_n$ ) додати певну долю капітальних вкладень ( $K$ ) або використаних основних фондів ( $\Phi_{ос}$ ) та оборотних матеріальних засобів ( $\Phi_{об}$ ):

$$C_{пр} = C_n + EK, \text{ або } C_{пр} = C_n + E(\Phi_{ос} + \Phi_{об}), \quad (3.16)$$

де  $E$  – норматив економічної ефективності капітальних вкладень.

На сьогодні визначення капіталомісткості меліоративних робіт на відновлення деградованих земель пов'язане із значними труднощами, які виникають за умов недосконалості технології цих робіт, а також через відсутність систематичного обліку основних та оборотних фондів, необхідних для цієї мети. Тому приведені витрати на відновлення витрат родючості ґрунтів визначимо за аналогією з формуванням кадастрових цін.

Емпіричні дослідження свідчать про те, що приведені витрати на відновлення деградованих сільськогосподарських земель визначаються за залежністю:

$$C_{пр} = C_n + (0,14 \cdot 4C_n), \text{ або } C_{пр} = 1,56C_n. \quad (3.17)$$

Відомо, що витрати на відновлення родючості ґрунту викликають зменшення суспільного чистого доходу не лише неопосередковано, а тільки у вигляді суспільного результату їхнього примусового застосування. Відновлення деградованих земель може бути здійснено лише за рахунок загальної суми суспільного чистого доходу, яка розподіляється на населення. За умови використання капітальних вкладень поточного періоду на загальносуспільні потреби було б забезпечено отримання чистого доходу за нормативами економічної ефективності, тобто 14 % від суми капітальних вкладень. Окрім того, загальна сума витрат, що спрямована на меліоративні роботи з відновлення родючості ґрунтів, буде врахована у собівартості робіт землеробства. Зазвичай норма погашення витрат на меліорацію приймається в розмірі 12,5 %, а коефіцієнт абсолютної ефективності погашення капітальних вкладень для сільського господарства доцільно встановити у розмірі  $E = 0,07$ .

Отже, за рахунок виділення капітальних вкладень на ліквідацію наслідків деградації (відновлення втраченої родючості ґрунту) втрати умовного чистого доходу на рівні національної економіки складуть 0,335 від суми прямих витрат ( $0,14 + 0,125 + 0,07$ ), тобто  $ЧД = C_n \cdot 0,335$ , або 0,215 від суми приведених витрат:  $ЧД = C_{пр} \cdot 0,215$ .

Отже, визначальними критеріями еколого-економічної оцінки природного збитку від деградації ґрунтів необхідно вважати розмір приведених витрат на відновлення потенційної родючості ґрунту та втрат чистого доходу на деградованих землях. Основні методологічні положення визначення прямого збитку та способу його економічного вираження наведемо на прикладі деградованих ґрунтів лісостепової зони Рівненської області.

Для якісної оцінки потенційної родючості ґрунтів використовуємо енерговитратний підхід. В якості основних показників потенційної родючості ґрунтів розглядаємо валовий вміст гумусу, азоту, фосфору.

Використання узагальнюючих енергетичних характеристик функціонування ґрунтової системи дозволяє отримати точні прогнози дані щодо якості ґрунту певного типу (елементний статус, якість гумусу як акумулятору і джерела енергії, енергетичний стан) для оцінювання їх екологічних функцій; здійснювати управління відтворенням енергетичного потенціалу їх органічної речовини та якістю ґрунтів [7].

Показником родючості ґрунтів є наявність гумусу, який відображає тенденцію всіх складових продуктивності. Зважаючи на це, при енергетичній оцінці рівня родючості фактор гумусу необхідно брати до уваги передусім.

Більшість фізичних, біологічних і хімічних властивостей ґрунту пов'язано з наявністю у ньому гумусу. У складі гумусу вміщується до 99 % всього азоту та біля 50 % загального вмісту фосфору, що є в складі ґрунту [5]. Слід додати, що гумус має високу енергоємність: в 1 кг. вміщується за різними оцінками від 4100 до 5500 Ккал [5].

Попри те, що більша частина азоту та фосфору знаходиться в органічному поєднанні, при енергетичній оцінці ґрунтів їх необхідно буде врахувати обов'язково. Це пояснюється тим, що значення гумусу при характеристиці родючості ґрунтів не обмежується вмістом у ньому азоту та фосфору. Крім того, енергоємність гумусу не залежить від вмісту азоту або фосфору. Енергоємність 1 кг азоту (дієвої речовини) – 21230,8 Ккал, а 1 кг фосфору (діючої речовини) – 3509,3 Ккал.

Повітряно-водний режим та активність ґрунтової біоти найбільш повно відображає структурно-агрегатний склад ґрунту. Від процентного вмісту водостійких агрегатів у ґрунті залежить діапазон активної вологості, дихання ґрунту, а також здатність ґрунту поглинати азот із атмосфери, насичення поверхневого шару ґрунту вуглекислотою, що забезпечує оптимальну температуру ґрунту.

Структурно-агрегатний склад добре вивчений для всіх типів ґрунтів. Також науково доведено, що для збільшення кількості водостійких агрегатів на 1 % необхідно в середньому 2,5 т/га органічного добрива. Енергоємність 1 т органічного добрива (з врахуванням енергозатрат на внесення) –  $104,3 \cdot 10^3$  Ккал. З огляду на сказане зниження показника структури ґрунту на 1 % відповідає втратам енергії  $260 \cdot 10^3$  Ккал на 1 га.

Відомо, що за стандарт (еталон) ґрунту беруть не максимальне значення, а оптимальне значення показника на основі одного з основних законів землеробства – закону оптимуму. Для енергетичної оцінки ґрунту враховують фактори, які не оптимізуються. Верхня межа вмісту гумусу у ґрунті, валового азоту та фосфору не встановлена. Стосовно структури ґрунтів – наявність водостійких агрегатів обмежено 0 – 100 %, тому відхилення за обраними для оцінки показниками при будь-якій формі деградації ґрунту можливе лише тільки вниз порівняно з еталоном. Це означає, що величина такого відхилення вказує на ступінь деградації кожного фактора. Однак не кожен вид деградації можна охарактеризувати тільки за вмістом у ґрунті гумусу, азоту, фосфору та за структурно-агрегатним складом. Вторинне засолення ґрунтів відзначається рівнем та ступенем засоленості ґрунтів, водойм, наявністю іонів Na та Mg, перезволоженням, підтопленням. Для енергетичної оцінки ґрунтів, що зазнали вищевказаних видів деградації, необхідно, крім основних показників, взятих для оцінки еталону, визначити кількість енергії, яка необхідна для меліорації цих земель.

Отже, для енергетичної оцінки темно-сірих опідзолених ґрунтів легкосуглинкового складу та чорноземів опідзолених легкосуглинкового складу використано такі показники:

1. Вміст гумусу (%), його запас у метровому шарі ґрунту, (тонн).
2. Валовий вміст азоту (%), його запас у метровому шарі ґрунту, (тонн).
3. Валовий вміст фосфору (%), його запас у метровому шарі ґрунту, (тонн).

Перераховані показники охоплюють глобальні блоки родючості ґрунтів: органічна речовина, хімічний склад (табл. 3.5, 3.6).

Таблиця 3.5

Основні показники природної родючості темно-сірих опідзолених ґрунтів легкосуглинкового складу

№ з/п	Ґрунти за видами та ступенем деградації	Найменування факторів				
		Вміст валового гумусу	Вміст валового азоту	Вміст валового фосфору	Структурно-агрегатний склад	Вапняний потенціал
I	Еталонні ґрунти	370	20,5	18,2	47,1	3,0
II	Модальні ґрунти	250	17,2	13,1	30,0	5,1
III 1.	Деградовані ґрунти					
	Ґрунти, що зазнали водної ерозії					
	слабо	185	10,1	11,5	21,6	5,5
	середньо	132	8,3	9,4	18,5	5,9
	сильно	110	5,7	8,1	12,2	6,9
2.	Кислі ґрунти					
	слабо	234	16,1	12,7	27,0	6,1
	середньо	260	14,2	12,0	23,0	6,3
	сильно	200	12,4	11,2	20,0	6,5

Продовж. табл. 3.5

№ з/п	Грунти за видами та ступенем деградації	Найменування факторів				
		Вміст валового гумусу	Вміст валового азоту	Вміст валового фосфору	Структурно-агрегатний склад	Вапняний потенціал
3.	Перезволожені ґрунти слабо	278	16,3	12,8	23,4	5,9
	середньо	265	15,0	12,2	20,2	6,3
	сильно	210	12,8	12,5	18,7	6,7
4.	Ущільнені ґрунти слабо	270	17,2	13,1	13,1	6,1
	середньо	270	17,2	13,1	13,1	6,3
	сильно	270	17,2	13,1	13,1	6,5

*Джерело: узагальнено авторами за даними Інституту землеустрою м. Рівне*

Для енергетичної оцінки у роботі було використано систему факторів, від яких залежить забезпечення рослин важливими для росту елементами, а ґрунту – необхідними умовами активного біологічного процесу.

З вище названих методичних підходів до вартісної оцінки ґрунту як незамінного природного ресурсу під час дослідження взято до уваги не стільки його внутрішня енергомісткість, скільки той обсяг енергетичних витрат, що необхідний для відновлення наявного в ґрунті родючого енергетичного потенціалу.

Таблиця 3.6

**Основні показники природної родючості  
чорноземів опідзолених легкосуглинкового складу**

№ з/п	Грунти за видами та ступенем деградації	Найменування факторів				
		Вміст валового гумусу	Вміст валового азоту	Вміст валового фосфору	Структурно-агрегатний склад	Вапняний потенціал
I	Еталонні ґрунти	420	33,1	22,5	70,0	–
II	Модальні ґрунти	355	26,5	17,2	52,0	3
III 1.	Деградовані ґрунти					
	Ґрунти, що зазнали водної ерозії слабо	280	19,9	15,4	47,0	3,4
	середньо	231	16,4	14,2	32,1	4,0
2.	Кислі ґрунти слабо	337	23,9	16,8	49,4	6,0
	середньо	302	21,4	15,9	44,2	6,2
	сильно	266	18,9	15,0	39,0	6,4
3.	Перезволожені ґрунти слабо	341	24,2	16,9	50,4	5,6
	середньо	311	22,3	16,1	39,0	6,2
	сильно	275	19,5	15,3	30,0	6,6
4.	Ущільнені ґрунти слабо	355	25,2	17,2	51,4	6,0
	середньо	355	25,2	17,2	44,2	6,2
	сильно	355	25,2	17,2	38,0	6,4

*Джерело: узагальнено авторами за даними Інституту землеустрою м. Рівне*

Для того, щоб компенсувати втрати родючості ґрунту, доведеться витратити значно більшу кількість енергії, ніж буде або вже втрачено у результаті деградації ґрунту. Це пов'язано насамперед з додатковими енерговитратами, яких зазнає людство, коли добуває, виробляє, транспортує, зберігає та вносить у ґрунт необхідні заміники основних складових його потенційної родючості. Для того, щоб компенсувати, наприклад, втрати гумусу, необхідне внесення органічних добрив. Енергоємність 1 т гумусу – 4100 тис. Ккал, а енергоємність 1 т органічного добрива – 100,3 тис. Ккал.

Для поновлення балансу при втраті 1 т гумусу необхідно внести у ґрунт орієнтовно 40 т органічного добрива, витративши при цьому додаткову енергію на технологічні операції з транспортування та внесення добрива у розмірі 1000 тис. Ккал. У результаті для штучного відновлення 1 т гумусу в сучасних умовах людство буде змушене витратити 5100 тис. Ккал невідновлюваної енергії. Цю величину рекомендуємо враховувати при енергетичній оцінці ґрунту. Так само визначаються енергозатрати на відновлення інших складових потенційної родючості ґрунтів (табл. 3.7).



Таблиця 3.7

**Енергоємність основних факторів родючості ґрунтів**

Найменування факторів	Енергоємність одиниці, Ккал
Гумус (з врахуванням затрат на внесення), т	$5100 \cdot 10^3$
Азот (з врахуванням затрат на внесення), т	$21231 \cdot 10^3$
Фосфор, т	$3509 \cdot 10^3$
Структурний агрегатний склад (визначено через енергоємність органічного добрива, з врахуванням витрат на внесення. З розрахунку 2,5 т на 1 %). Енергоємність 1 т органічного добрива – 100,3 тис. Ккал, а з врахуванням витрат на внесення – 104,3 тис. Ккал)	$261 \cdot 10^3$
Вапняковий потенціал, т	$988 \cdot 10^3$

Примітка: кілокалорія = 4186,8 Дж

Джерело: узагальнено авторами

Втрати азоту та фосфору компенсуються мінеральними добривами, зміна структури ґрунту – додатковим внесенням органічної речовини.

Отже, впровадивши всі основні фактори потенційної родючості у формі енергозатрат на їх штучне поновлення на одиницю площі, можна розрахувати відновлювальну енергоємність 1 га еталонного, модального та деградованого ґрунту. Відтак, показник енергоємності ґрунту буде відображати стан його потенційної родючості, тобто, чим більшу кількість енергії необхідно витратити на відновлення 1 га ґрунту в разі повної його деградації, тим вищий сучасний рівень його родючості.

До першої групи входять енерговитрати, пов'язані з відновленням основних складових родючості ґрунту (азоту, фосфору, структурного складу), що безпосередньо характеризують його рівень. Другу групу складають енерговитрати, пов'язані із меліорацією вже деградованих земель (витрати, спрямовані на нормалізацію вапняного потенціалу ґрунту).

Лише одна необхідність використання витрат на меліоранти свідчить про певну ступінь деградації ґрунту та зниження родючості, тому під час розрахунку сумарної енергоємності 1 га ґрунту показники 1 групи додають, а показники 2 групи віднімають (табл. 3.8, 3.9).

Таблиця 3.8

**Розрахунок енергоємності 1 га темно-сірих опідзолених ґрунтів легкосуглинкового складу**

№ з/п	Ґрунти за видами та ступенем деградації	Енергоємність витрат на відновлення, млн. Ккал					Енергоємність 1 га ґрунту, млн. Ккал	% до еталону
		гумусу	валового азоту	валового фосфору	структурно-агрегатний склад	вапняний потенціал		
I	Еталонні ґрунти	7,9	1,82	0,27	0,051	0,0013	10,03	100
II	Модальні ґрунти	0,53	1,53	0,19	0,033	0,0021	7,07	70,5
III	Деградовані ґрунти							
	1. Ґрунти, що зазнали водної ерозії							
	слабо	3,95	0,89	0,17	0,023	0,023	5,02	50,0
	середньо	2,82	0,74	0,14	0,020	0,024	3,69	36,8
	сильно	2,35	0,51	0,12	0,013	0,028	2,96	29,5
	2. Кислі ґрунти							
	слабо	4,99	1,43	0,19	0,029	0,025	6,62	66,0
	середньо	5,55	1,26	0,18	0,025	0,026	6,99	69,7
	сильно	4,27	1,10	0,16	0,021	0,027	5,53	55,2
IV	3. Перезволожені ґрунти							
	слабо	5,94	1,45	0,19	0,026	0,024	7,57	75,5
	середньо	5,66	1,33	0,18	0,022	0,026	7,17	71,5
	сильно	4,48	1,14	0,18	0,021	0,028	5,79	57,8
	4. Ущільнені ґрунти							
	слабо	5,77	1,53	0,19	0,014	0,025	7,48	74,5
середньо	5,77	1,53	0,19	0,014	0,026	7,47	74,5	
	сильно	5,77	1,53	0,19	0,014	0,027	7,47	74,5

Джерело: розрахунки авторів

Енергетична оцінка темно-сірих опідзолених ґрунтів та чорноземів опідзолених легкосуглинкового складу лісостепової зони Рівненської області, показує, що на землях, які зазнали водної ерозії, потенціал родючості нижчий, ніж еталонне значення на 60 – 70 %.

Таблиця 3.9

**Розрахунок енергоємності 1 га чорноземів опідзолених легкосуглинкового складу**

№ з/п	Ґрунти за видами та ступенем деградації	Енергоємність витрат на відновлення, млн. Ккал					Енергоємність 1 га ґрунту, млн. Ккал	% до еталону
		ґумусу	валового азоту	валового фосфору	структурно-агрегатний склад	вапняний потенціал		
I	Еталонні ґрунти	8,97	2,94	0,33	0,08	–	12,32	100
II	Модальні ґрунти	7,58	2,36	0,25	0,06	0,01	10,23	83,1
III	Деградовані ґрунти							
	1. Ґрунти, що зазнали водної ерозії							
	слабо	5,98	1,77	0,23	0,05	0,01	8,01	65,0
	середньо	4,93	1,46	0,21	0,04	0,02	6,62	53,7
	сильно	3,57	1,06	0,19	0,03	0,02	4,82	39,1
	2. Кислі ґрунти							
	слабо	7,20	2,12	0,25	0,05	0,02	9,60	77,9
	середньо	6,45	1,90	0,23	0,05	0,03	8,61	69,9
	сильно	5,68	1,68	0,22	0,04	0,03	7,60	61,7
	3. Перезволожені ґрунти							
	слабо	7,28	2,15	2,41	0,06	0,02	11,87	96,4
	середньо	6,64	1,98	0,24	0,04	0,03	8,88	72,1
сильно	5,87	1,73	0,22	0,03	0,03	7,84	63,6	
4. Ущільнені ґрунти								
слабо	7,58	2,24	0,25	0,06	0,02	10,10	82,0	
середньо	7,58	2,24	0,25	0,05	0,03	10,10	82,0	
сильно	7,58	2,24	0,25	0,04	0,03	10,09	81,9	

*Джерело: розрахунки авторів*

На основі показників відновлювальної енергоємності 1 га ґрунтів виконана вартісна оцінка землі. Для цього спочатку визначена сучасна енергоємність грошового еквіваленту. На виробництво 1 грн валової сільськогосподарської продукції в землеробстві використовується 3848 Ккал (розрахунки авторів). З огляду на це, розмір витрат на відновлення потенціалу родючості ґрунту, розрахований за енергоємністю валової сільськогосподарської продукції, доцільно розглядати як суму приведених витрат на штучне відновлення ґрунту.

На основі викладеного методичного підходу розраховується абсолютне значення відновлюваної вартості ґрунту будь-якого рівня родючості та ступеня деградації (табл. 3.10). Очевидним є те, що практичне використання цього виду оцінки може бути багатоваріантним, але у роботі використано показники вартісної оцінки землі для визначення прямого еколого-економічного збитку від деградації ґрунтів.

Таблиця 3.10

**Розрахунок вартісного вираження енергоємності 1 га ґрунту та еколого-економічного збитку від деградації ґрунтів в лісостеповій зоні Рівненської області**

№ з/п	Ґрунти за видами та ступенем деградації	Темно-сірих опідзолених ґрунтів легкосуглинкового складу			Чорноземів опідзолених легкосуглинкового складу		
		Енергоємність 1 га, млн. Ккал	Вартість 1 га тис. грн (1 грн = 3848 Ккал)	Вартісний вираз еколого-економічного збитку, тис. грн/га	Енергоємність 1 га, млн. Ккал	Вартість 1 га тис. грн (1 грн = 3848 Ккал)	Вартісний вираз еколого-економічного збитку, тис. грн/га
I	Еталонні ґрунти	10,03	2,607	0,000	12,32	3,202	0,000
II	Модальні ґрунти	7,07	1,838	0,769	10,23	2,659	0,543
III	Деградовані ґрунти						
	1. Ґрунти, що зазнали водної ерозії						
	слабо	5,02	1,304	1,304	8,01	2,081	1,121
	середньо	3,69	0,958	1,650	6,62	1,721	1,481
	сильно	2,96	0,769	1,838	4,82	1,252	1,950
	2. Кислі ґрунти						
слабо	6,62	1,721	0,886	9,6	2,496	0,706	
середньо	6,99	1,815	0,792	8,61	2,239	0,963	
сильно	5,53	1,438	1,169	7,6	1,976	1,226	

*Продовж. табл. 3.10*

3. Перезволожені ґрунти	слабо	7,57	1,967	0,640	11,87	3,085	0,117
	середньо	7,17	1,864	0,743	8,88	2,307	0,895
	сильно	5,79	1,504	1,104	7,84	2,038	1,164
4. Ущільнені ґрунти	слабо	7,48	1,944	0,663	10,1	2,624	0,578
	середньо	7,47	1,941	0,666	10,1	2,624	0,578
	сильно	7,47	1,941	0,666	10,09	2,622	0,580

*Джерело: розрахунки авторів*

Загальний прямий збиток від деградації ґрунтів знаходиться як різниця між вартістю 1 га еталонного ґрунту та 1 га деградованого ґрунту. Ця величина показує ступінь знецінення ґрунту за весь час його нетехнічного сільськогосподарського використання.

Для того, щоб виразити прямий загальний збиток від деградації ґрунтів у втратах чистого доходу, необхідно його величину, що обчислена у приведених витратах, помножити на коефіцієнт 0,215.

Однак прямий збиток від деградації ґрунтів – це тільки частина негативного результату нерационального використання сільськогосподарських угідь. Наслідком прямого фізичного збитку родючості ґрунту є зниження врожайності сільськогосподарських культур на деградованих землях, що прийнято вважати непрямим збитком від деградації ґрунтів.

Розрахунок еколого-економічного збитку від деградації ґрунтів виконано за матеріалами лісостепової зони Рівненської області, на прикладі найбільш поширеного виду ґрунтів. На основі встановлених площ за видами і ступенем деградації, а також показників відновлювальної вартості основних типів ґрунтів у лісостеповій зоні Рівненської області (табл. 3.10), зроблено розрахунок загального прямого збитку від деградації ґрунтів (табл. 3.11).

*Таблиця 3.11*

**Загальний прямий збиток від деградації ґрунтів з врахуванням їх енергоємності у лісостеповій зоні Рівненської області**

№ з/п	Ґрунти за видами та ступенем деградації	Площа, тис. га	Загальний прямий збиток			
			У приведених витратах		Втрати чистого доходу	
			на 1 га, тис. грн.	всього, тис. грн.	на 1 га, тис. грн.	всього, тис. грн.
I	Модальні ґрунти	103,6	0,769	79,755	0,166	17,148
II	Ущільнені ґрунти, що зазнали					
	1. Водної ерозії					
	слабо	41,84	1,304	54,503	0,280	11,719
	середньо	28,98	1,650	47,767	0,355	10,269
	сильно	26,89	1,838	49,425	0,395	10,627
	2. Кислі ґрунти					
	слабо	23,24	0,886	20,610	0,192	4,431
	середньо	12,01	0,792	9,494	0,169	2,041
	сильно	3,25	1,169	3,802	0,252	0,818
	3. Перезволожені ґрунти					
	слабо	37,15	0,640	23,772	0,137	5,112
	середньо	10,01	0,743	7,445	0,160	1,601
	сильно	3,23	1,104	3,562	0,237	0,766
4. Чистому впливу ущільнення						
слабо	75,1	0,663	49,811	0,143	10,710	
середньо	68	0,666	45,280	0,143	9,735	
сильно	59,6	0,666	39,685	0,143	8,531	

*Джерело: розрахунки авторів*

Найбільшу площу серед видів деградації займають ущільнені ґрунти, причому ущільнення притаманно для всіх видів деградованих земель. Саме тому розрахунок загального прямого збитку виконано з врахуванням перевищення інших видів деградації площею ущільнення. При цьому враховується не сумарний, а найбільший збиток.

Як зазначалося, прямий збиток – це тільки частина збитків від деградації. Найбільшу загрозу становить непрямий збиток, який щорічно спостерігається на деградованих землях.

Отримані величини збитків є орієнтовними та можуть бути уточнені при подальшому вдосконаленні методики їхніх розрахунків. Але не має жодних сумнівів у тому, що знання кількісних характеристик збитків від деградації ґрунтів можуть бути використані під час розв'язання багатьох питань управління землекористуванням.

Під час дослідження була розроблена модель оцінки потенційної родючості ґрунтів і розрахунку ґрунтоохоронного податку, що дасть змогу врахувати економічну суму збитків від деградації земель сільськогосподарського призначення.

Знаючи втрати гумусу та поживних елементів із ґрунту, ми можемо розраховувати також зміну енергії ґрунту при вирощування культур залежно від застосованих технологій.

Запропонована методика дає змогу оцінити потенційну родючість ґрунтів, а саме:

- розрахувати загальну енергоємність ґрунту сільськогосподарських угідь загалом по господарству, млрд. Ккал.;
- енергоємність 1 га сільськогосподарських угідь, млн. Ккал.;
- загальні втрати енергії на всій площі сільськогосподарських угідь від деградованого ґрунту, млрд. Ккал.;
- втрати енергії на 1 га сільськогосподарських угідь від деградованого ґрунту, млн. Ккал.;
- річні втрати енергії на всій площі сільськогосподарських угідь від деградованого ґрунту, млрд. Ккал.;
- річні втрати енергії на 1 га сільськогосподарських угідь від деградованого ґрунту, млн. Ккал.;
- відновлювальну вартість землі на всій площі сільськогосподарських угідь, млн. грн.;
- відновлювальну вартість 1 га землі, тис. грн.;
- загальний прямий збиток від деградації ґрунту на всій площі сільськогосподарських угідь, тис. грн.;
- загальний прямий збиток від деградації ґрунту на 1 га сільськогосподарських угідь, грн.;
- загальний прямий збиток від деградації ґрунту на всій площі сільськогосподарських угідь (втрати чистого доходу), тис. грн.;
- загальний прямий збиток від деградації ґрунту на 1 га сільськогосподарських угідь (втрати чистого доходу), грн.;
- розмір ґрунтоохоронного податку на землю зі всієї площі сільськогосподарських угідь, тис. грн.;
- розмір ґрунтоохоронного податку на землю з 1 га сільськогосподарських угідь, грн.

Ґрунти втрачають значну кількість енергії, яку відновити дуже важко, іноді – практично неможливо. Для забезпечення більш високих врожаїв, необхідно збільшити вміст антропогенної енергії у вигляді внесення органічних та інеральних добрив до бездефіцитного рівня забезпеченості рослин макро- і мікроелементами.

Представлена методика дає змогу оцінити потенційну родючість ґрунтів і може бути використана під час коригування грошової оцінки земель на відповідну суму ґрунтоохоронного податку, який би спрямовувався на заходи з відновлення еталонної родючості ґрунтів.

### **3.5. Впровадження енергоощадних технологій вирощування сільськогосподарських культур**

© **Стахів О. А.**

*к.е.н., доцент, доцент кафедри економіки підприємства,*

*Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне, Україна*

Сучасне землекористування – це складна та комплексна задача, яка містить багато підсистем. В зв'язку з цим в процесі аграрного виробництва необхідно враховувати ступінь впливу антропогенного фактору на навколишнє середовище та у кожному конкретному випадку суворо дотримуватись вимог екологічного балансу для забезпечення стійкого розвитку підприємства в майбутньому.

Відповідно до вчення В. І. Вернадського першоджерелом, що породило біосферу, є космічна промениста енергія, а жива речовина Землі є планетарною подією космічного характеру. Вона виступає як своєрідний накопичувач і трансформатор променистої енергії світового простору [2].

Вчення про еволюцію біосфери підводить нас до того, що людина повинна, з одного боку, зменшити споживання біохімічної енергії, а з іншого – інтенсифікувати продукційний процес в біосфері, тобто підняти останню на більш високий енергетичний рівень.

У зв'язку з цим перед людиною стоїть подвійне завдання:

- підвищення енергетичного рівня біогеоценозів і всієї біосфери, посилення продукційного процесу і прискорення біогеохімічних циклів;
- забезпечення їх стабільності.

Сучасна наука і передова практика доводять, що за рахунок правильного використання біосферних ресурсів, шляхом перетворення абіотичного середовища у всіх географічних поясах і створення набору нових видів і сортів продуцентів, можна досягти 1 – 2 % використання сонячної енергії.

Отже, назріло питання раціонального використання людством енергії вітру, сонця, припливів, відпливів і продукції продуцентів світового океану. В цьому випадку можна досягти 7 – 10 % використання продуцентами сонячної енергії і 5 – 20 % енергії абіотичного кругообігу [2].

Сутність ведення сільського господарства полягає у використанні енергії та матеріалів з метою підвищення продуктивності агроєкосистем для отримання максимуму продукції, необхідної для задоволення потреб, економії енергетичних витрат, нормального функціонування економіки та виробництва сільськогосподарської продукції. На порозі прийдешнього тисячоліття це стає однією з ключових задач. Її рішення в першу чергу повинно пропонувати зниження так званої техногенної енергоємності виробництва сільськогосподарської продукції [5].

Підвищення енергоефективності та грамотна організація енергозбереження, дозволять істотно скоротити енерговитрати на одиницю одержуваної сільгосппродукції. До того ж потенціал енергозбереження в сільському господарстві величезний [6].

До енергозбереження в агропромисловому секторі економіки відносять комплекс заходів, спрямованих на підвищення родючості ґрунтів та урожайності сільськогосподарських культур; на забезпечення раціонального використання енергетичних ресурсів за рахунок скорочення їх витрат; удосконалення організаційно-економічних механізмів енергоспоживання; застосування енергоощадних технологій та техніки, поновлювальних та вторинних енергоресурсів [1, с. 66; 4, с. 131].

Зниження енергоємності стає в даний час домінуючим критерієм ефективності ведення сільськогосподарського виробництва та раціонального використання ресурсів, залучених в нього: ґрунтових, водних, енергетичних, біологічних, фінансових і трудових.

При вирощуванні сільськогосподарських культур важливим є застосування таких прогресивних агротехнологічних прийомів енергоощадних та ресурсозберігаючих технологій, які б сприяли зменшенню витрат трудових і матеріальних ресурсів, якісному поліпшенню родючості ґрунту, підвищенню рівня врожайності культур і зниженню рівня собівартості продукції

В рослинництві відбувається корінна переоцінка застосовуваних технологій обробітку культур з метою істотного скорочення енергетичних витрат. Науково обґрунтоване рослинництво дозволяє, з одного боку, нарощувати масштаби сільськогосподарського виробництва, а з іншого – забезпечувати екологічну рівновагу навколишнього середовища, її збереження і відтворення.

Найважливішою особливістю цих технологій має стати біологізація технологічних процесів в рослинництві: використання науково-обґрунтованих сівозмін, сортів, раціональної системи удобрення, інтегрованого захисту рослин, обробітку ґрунту. Енерго- та ресурсозбереження є комплексним процесом спільного функціонування безлічі сполучених ресурсів, що забезпечують їх оптимальне споживання з розрахунку на одиницю виконаної роботи, послуги, виробленої продукції за рахунок забезпечення раціональної стратегії їхнього споживання та відновлення [4, с. 65].

Технологія вирощування сільськогосподарських культур на торфових ґрунтах представляє собою сукупність технологічних операцій по вирощуванню урожаю цих культур, котрі проводяться у певній послідовності (черговості). Окремі технологічні операції потребують значних енергетичних витрат, що знижує ефективність сільськогосподарського виробництва. Тому важливим завданням є виявлення шляхів зниження енергетичних витрат при вирощуванні сільськогосподарських культур, здійснюючи удосконалення технології вирощування цих культур.

Як свідчить досвід використання торфових ґрунтів [3], можливо здійснювати певне вдосконалення технології вирощування сільсько-господарських культур на цих ґрунтах. До цих удосконалень технології можна віднести заміну хімічного методу боротьби з бур'янами у посівах просапних культур на агротехнічний та заміну основного обробітку ґрунту (оранки) після просапних культур на поверхневий обробіток ґрунту під зернові культури, багаторічні трави тощо.

У наших дослідженнях проведено енергетичну оцінку витрат, пов'язаних із удосконаленням технології вирощування сільськогосподарських культур.

Системні заходи землеробства насамперед виступають базовим фактором формування ступеня та типу засміченості.

Забур'яненість полів в значній мірі залежить від тих сільськогосподарських культур, які на них вирощуються. Багато з бур'янів мають подібний як у культурних рослин цикл розвитку, внаслідок чого вони виростають спільно, взаємно пригнічуючи один одного. Технологія вирощування сільськогосподарських культур на торфових ґрунтах передбачає проведення технологічних операцій щодо захисту рослин від бур'янів, засміченість посівів якими на торфових ґрунтах [3; 7] в 8 – 15 разів є більшою ніж на мінеральних ґрунтах. Шкідлива дія бур'янів на сільськогосподарські культури проявляється у зниженні їх урожайності від 5 – 7 до 85 – 90 % залежно від ступеня забур'яненості посівів та вирощуваних культур. Тому боротьба з бур'янами у посівах сільськогосподарських культур є важливим резервом підвищення їх урожайності.

У господарській практиці захист сільськогосподарських культур від бур'янів здійснюється як хімічним так і агротехнічним методом. В останні роки значна увага приділяється хімічному методу боротьби з бур'янами, оскільки він був складовою індустріальної технології вирощування сільськогосподарських культур на торфових ґрунтах. Проте мало уваги приділялось величині витрат виробництва на застосування хімічного методу захисту рослин від бур'янів та екологічним наслідкам від його застосування.

За даними наукових досліджень Сарненської науково-дослідної станції застосування хімічного методу боротьби з бур'янами у посівах просапних культур (картоплі, кукурудзи, кормових буряків) не мало переваги порівняно із агротехнічними методами боротьби з бур'янами в цих посівах (за рівнем урожайності цих культур). Для умов торфових ґрунтів відсутньою є визначення ефективності різних методів боротьби з бур'янами у посівах просапних культур, де є всі умови для застосування поряд з хімічним методом і агротехнічного методу.

В наших дослідженнях проводилось визначення енергетичної ефективності заміни хімічного методу захисту рослин від бур'янів на агротехнічний метод боротьби з бур'янами в посівах просапних культур. Енергетична оцінка витрат, пов'язаних із заміною хімічного методу боротьби з бур'янами на агротехнічний, проводиться на прикладі вирощування картоплі. Для порівняння зроблено енергетичну оцінку хімічного і агротехнічного (механізованого) методу боротьби з бур'янами (табл. 3.12).

Таблиця 3.12

**Розрахунок енергетичних витрат на застосування різних методів захисту рослин від бур'янів на 1 га**

Витрати	Енергетичні витрати на 1 га	
	ккал	МДж/га
<b>Хімічний метод</b>		
Прямі витрати		
Транспортування води	4684	19,6
Транспортування робочого розчину:		
витрати людино-годин	32	0,10
Обприскування посівів:		
Витрати:		
людино-годин		
трактористів	332	1,4
робітників	212	0,9
машино-годин		
трактора	12288	51,4
обприскувача	12638	52,9
Палива	100800	422,1
Засоби захисту	125914	527,2
Технічне обслуговування і ремонт	37389	156,5
Всього	2942289	1232,1
<b>Агротехнічний метод</b>		
1. Боронування посівів до сходів		
Витрати:		
людино-годин	396	1,7
машино-годин:		
трактора	8304	34,8
борон	970	4,0
Паливо	75600	316,5
Технічне обслуговування і ремонт	13911	58,2
2. Боронування посівів після сходів		
Витрати:		
людино-годин	445	1,9
машино-годин:		
тракторів	9342	39,2
борон	1096	4,6
Палива	100800	422,1
Технічне обслуговування і ремонт	15657	65,5
Всього	235251	948,4

*Джерело: розрахунки автора*

Структура енергетичних витрат на застосування різних методів захисту рослин від бур'янів наводиться в табл. 3.13.

Таблиця 3.13

**Структура енергетичних витрат на застосування різних методів боротьби з бур'янами в посівах картоплі**

Види витрат	Агротехнічний метод		Хімічний метод	
	Енергетичні витрати			
	МДж/га	%	МДж/га	%
Жива праця	3,6	0,4	2,4	0,2
Машини і механізми	82,6	8,7	104,3	8,5
Засоби захисту рослин	–	–	527,2	47,8
Паливо	738,6	77,9	422,1	34,2
Технічне обслуговування та ремонт	123,6	13,0	156,5	12,7
Транспортні роботи	–	–	19,6	1,6
Всього	948,0	100,0	1232,1	100,0

*Джерело: розрахунки автора*

З даних табл. 3.13 видно, що в структурі енергетичних витрат на здійснення агротехнічного методу захисту рослин від бур'янів переважають (77,9 %) витрати на паливо, та більше 21 % становлять витрати, пов'язані з використанням машин та механізмів. Лише 0,4 % становлять витрати живої праці. Застосування хімічного методу захисту рослин від бур'янів потребує значно більше енергетичних витрат (1232,1 МДж/га), а в їх структурі переважають (47,8 %) витрати на засоби захисту (гербіциди) рослин від бур'янів. Витрати на паливо, як в енергетичних одиницях, так і у відсотках при застосуванні хімічного методу боротьби з бур'янами є меншими – відповідно 422,1 МДж/га і 34,2 %. Більше 21 %, як і при застосуванні агротехнічного методу складають витрати пов'язані із використанням машин та механізмів для внесення в ґрунт засобів захисту рослин. Витрати живої праці становлять лише 2,4 МДж/га, або 0,2 %.

Проведені дослідження щодо ефективності різних методів захисту рослин (картоплі) від бур'янів дозволяють зробити висновки про те, що заміна хімічного методу боротьби з бур'янами в посівах картоплі на агротехнічний дозволяє зменшити витрати на 283,7 МДж/га та зменшити негативний антропогенний вплив хімічних засобів захисту рослин на навколишнє природне середовище і насамперед на ґрунт і його життя.

Вибір системи обробітку ґрунту повинен бути таким, щоб витрати на розпушування пласта були мінімальними. Найбільший ефект дає перехід на нетрадиційні ґрунтозахисні (безплужного, скорочені, мінімальні і нульові) системи.

Основний обробіток ґрунту під сільськогосподарські культури представляє собою сукупність технічних операцій щодо створення відповідних умов для росту і розвитку цих культур. Традиційно цей обробіток торфових ґрунтів здійснюється за допомогою оранки ґрунту на глибину 30 – 35 см та наступним його дискуванням в 1 – 2 сліди залежно від попередника. На ці операції витрачаються значні витрати матеріально-технічних та трудових ресурсів, величина яких визначається в грошовому виразі. В останні роки проведені дослідження щодо заміни технічних операцій при проведенні основного обробітку торфових ґрунтів виходячи із особливостей попередника, зокрема під зернові культури.

Дослідженнями Сарненської науково-дослідної станції по освоєнню боліт [6] встановлено, що при вирощуванні зернових культур (озимого жита, ячменю, вівса) та кукурудзи після просапних попередників (картоплі, кормових буряків, кукурудзи тощо) можна обмежитись поверхневим обробітком ґрунту (дискування ґрунту) замість оранки. Поверхневий обробіток ґрунту під зернові культури та кукурудзу не призводить до зниження їх урожайності, особливо на середньо та добре окультурених торфових ґрунтах. Водночас цей метод обробітку торфового ґрунту потребує менше енергетичних витрат.

Нашими дослідженнями проведено енергетичну оцінку всіх витрат, пов'язаних із проведенням основного обробітку (оранки) ґрунту та поверхневого обробітку ґрунту під ячмінь після кормових буряків. Енергетичні витрати визначалися виходячи із всього комплексу технологічних операцій, які здійснюються при обробітку ґрунту під зернові культури (ячмінь). Розрахунок енергетичних витрат, пов'язаних з обробітком торфового ґрунту під ячмінь наводиться в табл. 3.14.

Наведені дані табл. 3.14 показують, що на проведення основного обробітку торфового ґрунту після просапних попередників потрібні значні енергетичні витрати. За традиційного технічного вирощування ячменю основний обробіток ґрунту під ячмінь передбачає оранку ґрунту на глибину 30 – 35 см з наступним його дискуванням. Проведення цих технологічних операцій потребує 702862 ккал або 2942,7 МДж/га. Враховуючи те, що після просапних попередників (картопля, кормові буряки, кукурудза) торфовий ґрунт знаходиться у розпушеному стані, науковими дослідженнями рекомендується замість оранки проводити поверхневий обробіток торфового ґрунту, який за своєю

ефективністю не поступається перед оранкою ґрунту. Нашими дослідженнями зроблено енергетичну оцінку витрат ресурсів на проведення поверхневого обробітку ґрунту під ячмінь. Величина енергетичних витрат становить 422475 ккал або 1768,9 МДж/га, що в 1,66 рази менше ніж при обробітку ґрунту за допомогою оранки. Дані дослідження дозволяють зробити висновки про те, що запровадження поверхневого обробітку торфового ґрунту після просапних попередників під зернові культури дозволяє значною мірою зменшити енергетичні витрати на основний обробіток ґрунту та сприяти збереженню органічної речовини торфу.

Таблиця 3.14

**Енергетична оцінка витрат, пов'язаних з основним обробітком ґрунту під ячмінь, на 1 га**

Види витрат	Енергетичні витрати	
	какл/га	МДж/га
<b>Оранка ґрунту</b>		
1. Оранка ґрунту на глибину 30 см:		
Витрати:		
живої праці	990	4,1
машино-годин:		
трактора	80960	339,0
плуга	14496	60,7
Палива	176400	738,6
Технічне обслуговування і ремонт	143184	599,5
2. Дискування ґрунту в 1 слід		
Витрати:		
живої праці	495	2,1
машино-годин:		
трактора	40480	169,5
дискових борон	13577	56,8
Палива	151200	633,0
Технічне обслуговування і ремонт	81086	339,4
Всього	702862	2942,7
<b>Поверхневий обробіток ґрунту</b>		
1. Дискування ґрунту в 2 сліди		
Витрати:		
живої праці	990	4,1
машино-годин:		
трактора	80960	339,0
дискових борон	27154	113,7
Палива	151200	633,1
Технічне обслуговування і ремонт	162171	679,0
Всього	422475	1768,9

*Джерело: розрахунки автора*

Структура енергетичних витрат на проведення основного обробітку ґрунту під ячмінь наводиться в табл. 3.15.

Таблиця 3.15

**Структура енергетичних витрат, пов'язаних з основним обробітком ґрунту під ячмінь**

Види витрат	Оранка ґрунту		Поверхневий обробіток ґрунту	
	Енергетичні витрати			
	МДж/га	%	МДж/га	%
Прямі витрати:				
Жива праця	6,2	0,2	4,1	0,2
Машини і механізми	626,0	21,3	452,7	25,6
Паливо	1371,6	46,6	633,1	35,8
Технічне обслуговування і ремонт	938,9	31,9	679,0	38,4
Всього	2942,7	100,0	1768,9	100,0

*Джерело: розрахунки автора*

Наведені дані (табл. 3.15) свідчать, що проведення основного обробітку торфового ґрунту потребує енергетичних витрат, пов'язаних із використанням машин і механізмів (більше 99 %). У структурі енергетичних витрат на проведення оранки ґрунту переважають витрати на паливо (1371,6 МДж/га), що становить 46,6 %.

Більше 50 % становлять витрати, пов'язані із енергоємністю машин і механізмів та енергетичні витрати на технічне обслуговування та їх ремонт. Лише 6,2 МДж/га або 0,2 % становлять витрати живої праці.



Проведення поверхневого обробітку ґрунту шляхом його дискування потребує менших енергетичних витрат, а саме: палива у 2,17 рази, енергоємності машин у 1,38 рази та витрат на технічне обслуговування і ремонти у 1,38 рази.

Витрати живої праці зменшуються в 1,51 рази. Однак їх питома вага в енергетичних витратах є незначною (0,2 %).

Використання енергетичного підходу до визначення ефективності аграрного природокористування буде спонукати господарства до економії усіх видів енергетичних витрат, а не тільки палива, до зниження енергоємності одиниці продукції, до енергетичної ефективності аграрного виробництва

Ми поділяємо думку [1], що головним пріоритетом, який є визначальним при використанні стратегії ефективного ведення господарства в аграрному секторі є природно-адапційне землекористування, суть якого полягає в поліпшенні якості сільськогосподарських угідь, що має на увазі додержання певних агротехнічних та агрохімічних заходів, які дозволять забезпечити позитивну динаміку виробництва аграрної продукції, зростання урожайності та підвищення якості сільгосппродукції, а також дозволить мінімізувати підприємницькі ризики аграріїв.

Енергоощадні технології вирощування рослинницької продукції вимагають чіткої послідовності на проведення агротехнологічних заходів з урахуванням особливостей сільськогосподарських культур, а також певного комплексу відповідних машин та знарядь.

### 3.6. Енергозабезпечення і енергоефективність галузі тваринництва та кормовиробництва

© Яковчик М. С.

*директор інституту підвищення кваліфікації і перепідготовки кадрів агропромислового комплексу закладу освіти "Білоруський державний аграрний технічний університет", д.е.н., д.с.-г.н., професор, заслужений працівник сільського господарства, м. Мінск, Республіка Білорусь*

Тваринництво – провідна, велика, складна галузь з розведення, вирощування та утримання тварин і птиці, яка забезпечує населення життєво важливими харчовими продуктами, які є основним джерелом білка тваринного походження (молоко, м'ясо, сало, яйця та ін.). Постачає сировину для молочної, м'ясної та інших галузей переробної промисловості. З продуктів і відходів тваринництва отримують м'ясо-кісткову і кісткову муку, а також лікувальні сироватки, гормональні препарати тощо.

Розведення, вирощування та утримання тварин і птиці базується на енергії, закладеної в різного виду кормах, отриманих в рослинництві. У свою чергу, тваринництво дає цінні добрива (гній, компост, пташиний послід), які широко та ефективно використовуються в рослинництві.

Енергоресурси, які споживаються в усіх тваринницьких галузях, дуже різноманітні – це перш за все енергія різних видів кормів рослинного, тваринного і мінерального походження, електроенергія, паливо (бензин, дизельне паливо та інші нафтопродукти, природний або скраплений газ, котельно-пічне паливо), підстилка, праця персоналу та енергія, що матеріалізована у тваринницьких приміщеннях і засобах комплексної механізації та автоматизації виробничих процесів [1, с. 448].

Комплексне використання (споживання) енергоресурсів у тваринництві здійснюється з єдиною метою – зробити продукцію, конкурентоспроможну на внутрішньому і зовнішньому ринках як за якістю, так і ціною реалізації. Ці найважливіші показники формуються головним чином складом і структурою спожитих енергоресурсів, які в кінцевому підсумку знаходять своє відбиття в якості продукції тваринництва, витратах виробництва і собівартості.

Основними енергоносіями, що використовуються безпосередньо у тваринництві, є: корми рослинного, тваринного і мінерального походження, електроенергія, нафтопродукти (бензин, дизельне паливо, гас, мазут, бітуми), природний, зріджений і газогенераторний газ, біогаз, кам'яне вугілля і місцеві види палива (дрова і деревне вугілля, брикетовані торф і солома, відходи рослинного і тваринного походження). Не всі енергоносії й не завжди споживаються в їх безпосередньому вигляді. Корми, наприклад, перш ніж надійти до споживачів (тварин та птиці), піддаються переробці або перетворенню, зберігаючи або покращуючи свою поживну цінність і фізико-хімічну основу.

Характерні для тваринництва потоки енергоносіїв можуть бути представлені у вигляді системи (моделі), що складається з 4-х взаємопов'язаних ланок: корм – машина – тварина (птиця) – зовнішнє середовище, які фізично і біологічно взаємодіють між собою, а їх взаємодія забезпечує обслуговуючий персонал (операторів), що представляє собою 5-у ланку виробничої системи.

На "вході" виробничої системи реалізуються технологічні процеси, пов'язані з кормовиробництвом (заготівлею та зберіганням кормів), які представляють собою перший підготовчий етап виробництва продукції тваринництва. З енергетичної точки зору всі технологічні процеси цього етапу зводяться до насичення енергією і її збереження, головним чином, в кормовій сировині та заготовлених кормах. Корми, будучи продуктом кормовиробництва, при постачанні до тваринництва стають предметом праці.

Кінцевим результатом сумарного споживання сукупних енергоресурсів і енергообміну процесів (“вихід” виробничої системи) є формування і отримання, збір, накопичення і зберігання готової продукції тваринництва, яка тільки частково придатна для безпосереднього вживання в їжу, а в основному служить вихідною сировиною для переробки та отримання різних харчових продуктів, а також виробництва окремих товарів широкого вжитку.

Енерговитрати – це витрати всіх видів енергоносіїв (в натуральному і грошовому вираженні), спожитих в процесі утримання і обслуговування тварин і птиці з метою виробництва запланованого обсягу продукції тваринництва. Вони формуються виходячи з потреби в певному виді енергоносіїв на рівні тваринницької ферми або комплексу або галузі тваринництва в цілому [2, с. 183].

Тварини і птиця різних видів і статеві-вікових груп споживають в основному енергію, акумульовану (накопичену) в кормах, яка витрачається на підтримання їх фізіологічного стану (життєдіяльності) і формування продуктивності. На частку кормів в структурі повних витрат енергії припадає від 60 до 90 % залежно від виду і біологічних потреб тварин і птиці, а в собівартості продукції тваринництва корми займають від 50 до 70 % і більше.

Відношення енерговитрат до збільшення або зменшення обсягів виробництва продукції тваринництва неоднакове. Енерговитрати, які змінюються в тому ж напрямку, що і обсяги виробництва і залежать в основному від видів і статеві-вікових груп тварин і птиці, їх продуктивності і застосовуваних технологій, називають змінними, а ті, які не можуть бути за відносно невеликий проміжок часу ні збільшені, ні зменшені з метою зменшення або збільшення обсягу виробництва та переважно залежать від розмірів і спеціалізації тваринницьких ферм і комплексів, кількості працюючих, матеріально-технічної оснащеності та інших особливостей, називають постійними. Всі інші об’єкти споживають переважно електричну енергію і різні види палива.

Класифікацію показників енерговитрат у тваринництві проводять за різними ознаками (табл. 3.16).

Таблиця 3.16

**Класифікація показників енерговитрат у тваринництві**

Класифікаційна ознака	Вираження	Одиниці виміру
1. Матеріально-речовий стан	Натуральні	Основні, додаткові і виробничі одиниці СІ та позасистемні одиниці маси, об’єму, потужності та ін.
	Умовно-натуральні	Кормова одиниця (корм. од.), умовне паливо (у.п.)
	Умовні	Кормопротеїнова (КП) чи енергетична кормова (ЕК) одиниці
	Вартісні	Грошові одиниці
2. Властивості, що характеризуються	Абсолютні	Те ж, що і в п. 1
	Відносні	Те ж, що і в п. 1 в розрахунку на одиницю об’єму виробництва <sup>1)</sup>
	Одиничні (індивідуальні)	Те ж, що і в п. 1
	Комплексні (групові)	Те ж, що і в п. 1
3. Стадія визначення значень	Прогнозні (планові)	Абсолютні чи відносні
	Фактичні	Те ж, що і в п. 1
	Нормативні	Те ж, що і в п. 1
4. Відношення до виробничого процесу	Прямі	Те ж, що і в п. 1
	Непрямі	Те ж, що і в п. 1
	Інвестовані	Те ж, що і в п. 1
	Сукупні	Те ж, що і в п. 1
5. Відношення до об’ємів виробництва	Змінні	Відносні в розрахунку на одиницю об’єму виробництва <sup>1)</sup>
	Постійні	Абсолютні
6. Рівень формування	Галузеві (скотарство, свинарство та ін., тваринництво в цілому) Тваринницька ферма, комплекс Виробничі приміщення чи група однотипних приміщень	Те ж, що в пп. 1 і 2
7. Відношення до календарного часу	Добові Місячні Квартальні Річні	Те ж, що в пп. 1 і 2

<sup>1)</sup> в якості обсягу виробництва може бути як обсяг виробництва продукції тваринництва (ц, т, од. та ін.), так і кількість поголів’я тварин або птиці

*Джерело: узагальнено автором*

Виділення в енерговитратах змінної складової дозволяє спростити їх облік, аналіз, контроль і нормування.

Формування енерговитрат по відношенню до організаційно-виробничої структури і структури календарного часу має відбуватися “знизу вгору”: від технологічних операцій і виробничих процесів в кожному виробничому приміщенні до тваринницької ферми (комплексу), а потім – до тваринництва як галузі і господарства в цілому, від діб до місяця, кварталу та року [3, с. 200].

Сукупні витрати енергії ( $E_c$ ), спожитої в процесі виробництва продукції тваринництва, обчислюють з енергетичного вмісту кожного компонента (оборотних і основних засобів виробництва, витрат живої праці виконавців) виходячи з витрат в натуральних одиницях і з урахуванням його енергетичного еквівалента:

$$E_c = \sum V_{en i} I_{e i}, \quad (3.18)$$

де  $V_{en i}$  – витрати  $i$ -го енергоносія в натуральному виразі, кг (л, ккал, кВтг.-год.,  $m^2$ ,  $m^3$ , люд.-год. і ін.);

$I_{e i}$  – енергетичний еквівалент  $i$ -го енергоносія, спожитого в натуральному виразі, мДж [3].

Ефективність енерговитрат на виробництво продукції тваринництва можна оцінювати за допомогою різних критеріїв і показників, кожен з яких показує рівень використання енергії того чи іншого енергоносія або досконалість технологічного процесу. При цьому вельми важливо виявити резерви і потенціал можливого зниження енерговитрат.

Резерв зниження енерговитрат ( $R$ ) – різниця, виражена у відсотках, між фактичними витратами та галузевими (або проектними) нормами витрат енергоносіїв щодо фактичних витрат. Може бути визначений за формулою:

$$\Delta R_{рез} = \frac{R_{факт} - R_{норм}}{R_{факт}} 100, \quad (3.19)$$

де  $R_{факт}$  і  $R_{норм}$  – відповідно фактичні і нормативні витрати енергоносіїв, які можуть бути виражені в абсолютних або в питомих (на 1 ц, 1 т, 1  $m^2$ , 1  $m^3$  та ін.) величинах.

Реалізацію резерву економії енергетичних ресурсів слід розглядати в такій послідовності:

- дотримання передбачених технологією виробництва робіт технологічних графіків, режимів і тривалості роботи енергоустановок (машин, механізмів, приладів, обладнання, транспортних засобів);
- навчання персоналу і дотримання ним виробничої та технологічної дисципліни;
- дотримання інструкцій з експлуатації машин, агрегатів, потокових ліній та енергетичного обладнання (своєчасне технічне обслуговування, заміна несправних вузлів і деталей, проведення інших профілактичних і експлуатаційних заходів, які забезпечують підтримку нормативних значень витрати енергоносіїв і підвищують ефективність їх використання).

Потенціал зниження енерговитрат – різниця в відсотковому вираженні між фактичними витратами енергоносія на тваринницькій фермі (комплексі, птахофабриці) в порівнянні з витратами на еталонному (найкращому) аналогічному об’єкті ( $R_{етал}$ ):

$$\Delta R_{пзев} = \frac{R_{факт} - R_{етал}}{R_{факт}} 100. \quad (3.20)$$

Реалізацію потенціалу економії енергетичних ресурсів здійснюють, проводячи такі заходи:

- освоєння і застосування передових технологій виробництва продукції тваринництва, що мають менші витрати енергії на одиницю виробленої продукції;
- застосування більш досконалих машин, агрегатів, потокових ліній і енергетичного обладнання, начинених електронікою та комп’ютерними системами з високим ККД перетворення первинних енергоносіїв.

На виході з виробничої системи слід оцінювати ефективність заходів щодо реалізації резерву зниження енерговитрат і потенціалу економії паливно-енергетичних ресурсів.

На вході в виробничу систему вельми важливо організувати енергозабезпечення виробничих процесів у тваринництві та управління енерговитратами.

Енергозабезпечення та енергопостачання являє собою сукупність заходів щодо задоволення потреб тваринницьких галузей в потрібній кількості енергії та різних видах енергоносіїв, необхідних для використання у виробничих процесах і роботах з обслуговування тварин і птиці, в технологіях первинної переробки та зберігання, а також транспортування продукції тваринництва. Організація енергозабезпечення та енергопостачання зводиться, по-перше, до визначення потреби в енергетичних ресурсах; по-друге, до організації поставок безпосередньо в господарство та до місць їх споживання; по-третє, до обліку, зберігання і контролю за використанням поставлених енергоносіїв.

Потреба в енергоносіях, необхідних для виробництва продукції тваринництва, визначається виходячи з виробничої програми, обсягів виконання робіт і норм витрат. У практиці в залежності від наявності необхідної інформації та специфіки технологічних процесів використовують різні методи і способи обґрунтування потреби в енергоресурсах. Але найчастіше застосовують метод прямого розрахунку, коли потреба в енергоресурсах визначається як добуток прийнятої норми витрати на відповідний обсяг планової продукції або роботи.

Всі види енергоносіїв поділяють на покупні та власного виробництва. До покупних відносять нафтопродукти, електричну енергію та деякі види інших енергоносіїв (кам'яне вугілля, торфобрикети, природний і скраплений газ), а до енергоносіїв власного виробництва – корми і місцеві види палива (дрова, солома, пелети тощо).

Схеми забезпечення і постачання покупними і власними енергоносіями приблизно однакові у всіх сільськогосподарських підприємствах. Вони, як правило, враховують параметри всіх енергоносіїв, пов'язуються з технічною оснащеною тваринницьких ферм і комплексів, поголів'ям тварин і птиці, технологіями, термінами та обсягами виконання робіт.

Під енергетичним менеджментом розуміється загальна система планування, організації, мотивації і контролю надходженням, розподілом і споживанням паливно-енергетичних ресурсів. Він включає в себе сукупність організаційно-економічних і технічних заходів, спрямованих на енергозбереження та підвищення ефективності використання енергоресурсів.

Головне завдання енергетичного менеджменту – проведення комплексного аналізу енергоспоживання та зміна обсягів енергоспоживання в залежності від проведених енергозберігаючих заходів на тваринницькому об'єкті. Основними інструментами енергетичного менеджменту є планування (прогнозування), моніторинг, енергетичний баланс і енергетичний аудит.

Енергетичні ресурси кожним суб'єктом господарювання розглядаються як виробничі запаси – активи, які створюються для забезпечення безперервності виробничого процесу, використовуються в одному виробничому циклі і свою вартість повністю переносять на собівартість виготовленої продукції. Виробничі запаси поділяються на власні та покупні. Враховують їх після оприбуткування в натуральному (ваговому, об'ємному, кількісному) і вартісному вираженні. Власні виробничі запаси минулого року враховують за їх фактичною собівартістю, а поточного року – за плановою собівартістю з перерахунком її за підсумками року до рівня фактичної собівартості; покупні – за фактичними витратами на їх придбання.

Ведення обліку енергоресурсів регулюється обліковою політикою суб'єкта господарювання і залежить від специфіки і масштабів виробничої діяльності, ступеня механізації і автоматизації облікових робіт та інших факторів.

Облік енергоресурсів у тваринництві базується на даних первинних документів, в яких відображаються господарські операції використання енергетичних ресурсів та надходження (оприбуткування) готової продукції. Об'єктами обліку є самостійні тваринницькі галузі – скотарство, свинарство, вівчарство, птахівництво тощо. У свою чергу, кожна з них може включати виробництво окремих видів продукції, наприклад, в скотарстві виділяють виробництво молока, вирощування і відгодівлю молодняка великої рогатої худоби на м'ясо, вирощування племінного поголів'я, в свинарстві – вирощування племінного поголів'я, поросят до 4-х місяців і відгодівлю свиней, в птахівництві – виробництво дієтичних яєць і м'яса, інкубація тощо.

Отже, використання енергоресурсів у тваринництві розмежовується по галузях і видам виробленої продукції.

Як уже зазначалося, енергоресурси, які споживаються в усіх тваринницьких галузях, дуже різноманітні та неоднорідні – це перш за все енергія витрат живої праці обслуговуючого персоналу і різних видів згодованих кормів, електроенергія, паливо (бензин, дизельне паливо та інші нафтопродукти, природний або скраплений газ, котельно-пічне паливо), підстилка і енергія, матеріалізована в тваринницьких приміщеннях і технічних засобах, які використовуються у виробничих процесах і в зовнішньому середовищі.

Економне енергоспоживання буде там, де організований енергетичний менеджмент і моніторинг споживання енергоресурсів, налагоджений облік, причому облік автоматичний, як найбільш повний, точний і оперативний, що дозволяє управляти споживанням енергоресурсів в диспетчерському режимі, проводити найбільш актуальні енергозберігаючі заходи, контролювати дотримання технологічної дисципліни і витрати енергоносіїв по кожному об'єкту енергоспоживання.

Енергетичний баланс складається з прибуткової частини кожного виду енергоресурсів і видаткової. Прибуткова частина – це енергія та енергоносії, що надійшли споживачеві в тому чи іншому вигляді (електрична і теплова енергія, нафтопродукти, газ, котельне паливо та ін.), А видаткова – енергія та енергоносії, використані споживачем на ті чи інші цілі (в виробничих процесах, житлово-комунальному господарстві, вуличне освітлення тощо), а також різного роду втрати та продаж на сторону. Залежно від виду і параметрів енергоносіїв розрізняють енергетичні баланси, складені для якогось одного виду енергоресурсу і зведені – за сумарним використанням всіх енергоресурсів. Їх призначення – аналіз ефективності використання енергоресурсів споживачем, використання даних аналізу для розрахунку потреб в енергоносіях і визначення раціональної структури енергоспоживання, раціоналізації енергоспоживання суб'єкта господарювання.

Залежно від виду і параметрів енергоносіїв баланс може бути частинним (складеним для даного енергоносія) або зведеним енергобалансом за сумарним споживання теплових енергоресурсів. При складанні частинних енергетичних балансів кількісний вимір енергоносіїв проводиться в джоулях (Дж), гікакалоріях (Гкал), кіловат-годинах (кВт·год.), умовному паливі (у.п.). При складанні зведеного енергетичного балансу вимір різних енергоресурсів та енергоносіїв проводиться в тонах умовного палива.

Залежно від призначення енергетичні баланси можуть характеризуватися такими ознаками:

– розрахунковим періодом (звітні баланси за фактичними даними за минулий період, планові на найближчий період, що планується з урахуванням завдань по зниженню витрат енергії, проектні, що складаються при проектуванні об'єкта та т.п.);

– видом енергоносія (наприклад, часткові енергобаланси за окремими видами енергоносіїв, зведені енергобаланси за сумарним споживанням енергії).

Для складання і аналізу енергетичного балансу підприємства вихідна інформація може бути представлена у вигляді наступних даних:

– загальної виробничої та енергетичної характеристики;

– опису схеми матеріальних і енергетичних потоків;

– переліку та характеристик основного обладнання, що використовує енергію;

– даних про витрати енергоносіїв;

– даних про заходи щодо раціонального використання енергоресурсів на підприємстві.

Аналіз використання енергоносіїв може бути проведено шляхом порівняння фактичних показників з показниками за минулий період, перспективними, аналогічними на інших підприємствах. При цьому порівняння показників повинно проводитися з урахуванням умов порівнянності (при однакових обсягах, складах та якостях продукції і т.п.).

Енергетичний аудит являє собою перевірку і комплексне обстеження об'єктів енергоспоживання незалежними фізичними або юридичними особами, запрошеними на договірній основі з метою визначення ефективності використання енергетичних ресурсів та виявлення потенціалу енергозбереження за окремими видами енергоносіїв. Його об'єктом може бути сільськогосподарське підприємство будь-якої форми власності та форми господарювання, тваринницька ферма або комплекс.

За результатами енергетичного аудиту складається відповідний технічний звіт, в якому повинні міститися заходи, що сприяють раціональному використанню енергоресурсів, кількісні параметри економії та рекомендації з реалізації наявних резервів економії енергоресурсів. На основі його суб'єкт господарювання розробляє оптимальний режим споживання енергетичних ресурсів, а також програму з енергозбереження.

Отже, енергетичний аудит дозволяє визначити резерви економії енергоресурсів на кожному сільськогосподарському підприємстві.

Процедурі енергетичного аудиту, який виявляє величину фактичного споживання енергоносіїв і реальний потенціал енергозбереження, має передувати лімітування, організація якого передбачає не тільки ліміти енергоспоживання в натуральному та вартісному виразі, а й ліміти фінансування. Тому при проведенні різних по глибині видів енергоаудиту (експрес-аудит, вибіркового, комплексний, цільовий і т.д.) поряд з технічним обстеженням повинен проводитися і фінансовий аудит, оскільки результатом обстеження є пропозиції і рекомендації як технічного, так і фінансово-економічного характеру.

Під енергозбереженням розуміється практична організаційно-інформаційна діяльність юридичної або фізичної особи, спрямована на економне витрачання енергії і енергоносіїв, а також зниження їх втрат на всіх етапах і стадіях технологічного процесу виробництва кожного виду продукції тваринництва, які можуть бути викликані порушенням обліку, недотриманням норм і технологічних регламентів, неефективним господарюванням. У цьому плані воно повинно розглядатися як комплексна багаточільова програма, яка відображає всі технічні та організаційно-економічні заходи, спрямовані на ефективне використання та економію енергетичних ресурсів. На сучасному етапі, коли постачання і забезпечення основними видами енергоносіїв з різних причин обмежене і суб'єкти господарювання відчувають дефіцит енергоресурсів, енергозбереження стає домінуючим критерієм ефективності виробництва продукції тваринництва та раціонального використання залучених енергетичних, біологічних, фінансових і трудових ресурсів.

Проблема енергозбереження та економії енергоресурсів у тваринництві вирішується послідовно. Перш за все, необхідно розробити, прийняти (затвердити) і поступово реалізовувати організаційно-економічні заходи, спрямовані на стабільне і надійне енергозабезпечення, раціональне використання та економію енергоресурсів. Велика частина заходів, спрямованих на енергозбереження, вимагає певного фінансового забезпечення. Тому доцільність їх застосування слід ретельно прораховувати, виходячи з економічного ефекту на стадії формування бізнес-планів. По-друге, впроваджувати енергозберігаючі машинні технології в кормовиробництві і підготовці кормів до згодовування, енергозберігаючих технологічних процесів утримання тварин і птиці, що дозволяють кардинально знизити питомі енерговитрати. По-третє, широко використовувати поновлювані джерела енергії і

місцеві види палива. По-четверте, налагодити комплексний інженерно-технічний сервіс тваринницького обладнання. По-п'яте, постійно навчати працівників тваринницьких ферм і комплексів навичкам роботи на машинах і обладнанні нового покоління, заохочувати підвищення їх кваліфікації та матеріально мотивувати їх за економію енергоресурсів.

Кожним суб'єктом господарювання енергозбереження та економія енергоресурсів має розглядатися як комплексна багатоцільова програма, що відбиває етапи, масштаби та напрямки економії паливно-енергетичних ресурсів на всіх етапах технологічного процесу виробництва кожного виду продукції тваринництва. Заощадження та економія всіх видів енергії та енергоносіїв в умовах дефіциту енергетичних ресурсів стає не просто обов'язковим принципом, а й найважливішою вимогою господарювання в умовах ринкових відносин [4 с. 388].

Потенціал енергозбереження – очікуваний результат зниження витрат від виконання заданих запланованих енергозберігаючих заходів в процентному вираженні. Його величина залежить від технічного і технологічного стану об'єкта енергоспоживання, рівня організації виробництва окремого виду продукції тваринництва та інших факторів [5].

Стратегія енергозбереження повинна ґрунтуватися на економічному інтересі, що примушує машинобудівників випускати енергозберігаючу техніку, а споживачів – економічно використовувати паливно-енергетичні ресурси, головним чином за рахунок використання нових енергозберігаючих технологій і технічних засобів, високопродуктивних порід і гібридних ліній тварин і птиці.

Тактика енергозбереження може бути реалізована різними шляхами і засобами на всіх стадіях і етапах виробничого процесу, починаючи з планування кормової бази, вдосконалення структури посівних площ, вирощування кормових культур і вирощування кормової сировини.

При розробці заходів з енергозбереження на сільськогосподарському підприємстві необхідно врахувати, що економію паливно-енергетичних ресурсів можна здійснити шляхом вдосконалення енергопостачання і споживання енергоресурсів. Основними заходами в цьому відношенні є:

1. Правильний вибір енергоносіїв. Для кожного процесу необхідний такий енергоносієвий, який забезпечує найбільший енергетичний та економічний ефект. Вид енергоносія вибирають, зіставляючи альтернативні варіанти.

2. Розробка раціональних схем енергопостачання. Схема енергопостачання підприємства – складний комплекс, в якому взаємозалежні і часто взаємозамінні окремі енергоносії. Розробка комплексної схеми енергопостачання, пов'язаної з технологією і з врахуванням технологічно необхідних параметрів всіх енергоносіїв розкриє резерви економії і покаже черговість їх реалізації.

3. Внутрігосподарське управління енергоспоживанням – прийняття енергозберігаючих рішень та їх реалізація, впровадження автоматичного регулювання параметрів споживання енергії різними двигунами, установками і агрегатами, вибір енергозберігаючих технологій, виробничого і допоміжного обладнання, стимулювання всіх підрозділів, служб і персоналу підприємства на енергозбереження і т.д.

Проведення цих заходів дозволяє поряд з економією енерговитрат не допустити зниження продуктивності і збереження тварин і птиці, перевитрати кормів, зниження якості продукції тощо.

Раціональна організація годівлі тварин і птиці повинна забезпечувати вирішення наступних завдань:

– приготування необхідної кількості збалансованих за поживністю кормів для утримання тварин та птиці протягом доби;

– висока концентрація поживних речовин в приготованих кормах;

– економічність кормів – невисока собівартість кожного виду корму і раціону;

– постійне вдосконалення технології приготування кормів до згодовування на основі досягнень аграрної науки та передового досвіду;

– мінімізація втрат в процесі приготування, роздачі та згодовування кормів.

Важливе значення в зниженні витрат енергоресурсів під час виробництва продукції тваринництва та підвищенні продуктивності стада має раціональне поєднання кормів з урахуванням фізіологічного стану та продуктивності тварин і птиці. Повноцінне годування тварин і птиці засноване на зоотехнічних обґрунтованих типах і раціонах годівлі.

Сутність енергозбереження в процесі приготування і роздачі кормів полягає в підвищенні якості та енергетичної цінності готового корму за рахунок подрібнення і дозованого змішування, збагачення білково-мінеральними і вітамінними добавками, термічної обробки та інших заходів. Відповідно до зоотехнічних вимог кожен вид корму призводять до стану, що забезпечує найкращий ефект при його згодовуванні тваринам і птиці.

Витрати енергії, спожитої в процесі виробництва продукції тваринництва, вимірюються в одиницях системи СІ – джоулях (Дж) виходячи з витрат енергоносія в натуральних одиницях і з урахуванням його енергетичного еквівалента. І як би не збільшувалися ціни, якими б не були темпи інфляції, витрати енергії та енергоносіїв залишаються незмінними. Тому в порівнянні з деякими іншими економічними показниками вони більш об'єктивні, так як не залежать від кон'юнктури ринку.

Енергоємність виробництва певного виду продукції тваринництва характеризується сукупними витратами енергії на весь річний обсяг (загальна енергоємність) і на одиницю продукції (питома енергоємність).

Питому енергоємність виробленої продукції тваринництва обчислюють на її середньорічні обсяги за формулою:

$$E_e = \frac{E_c}{O_r}, \quad (3.21)$$

де  $E_e$  – енергоємність виробництва продукції тваринництва (питомі сукупні витрати енергії на виробництво одиниці продукції тваринництва), МДж/т (ц);

$E_c$  – сукупні витрати енергії (сума прямих, непрямих і інвестованих енерговитрат за рік), пов’язані з виробництвом певного виду продукції тваринництва, МДж;

$O_r$  – річний обсяг виробництва продукції тваринництва, т (ц), од.

У табл. 3.17 наведені розрахункові дані щодо складу і структури енергоносіїв, що споживаються для виробництва молока, відповідно до їх енергетичних еквівалентів. В основу розрахунків покладені середні нормативні витрати енергоносіїв на одну корову з різним річним надоем, в умовах функціонування молочно-товарної ферми на 400 корів з безприв’язним і вільно вигульним утриманням дійного стада.

Таблиця 3.17

Розрахунок енергоємності та енерговіддачі на виробництві молока

Енерговитрати і використані енергоносії, од. виміру	Енергетичний еквівалент, МДж	Витрати енергії та її співвідношення при різному річному надоеі від корови, кг					
		4500			5500		
		в натурі (на 1 голову)	МДж	%	в натурі (на 1 голову)	МДж	%
Прямі							
Витрати праці, люд.-год.	43,3	82	3550	3,3	90	3900	3,3
Корми, корм. од.	10,8	5150	55620	52,4	5900	63860	54,8
Електроенергія, кВт.-год	8,7	3000	26100	24,6	3200	27840	23,9
Дизельне паливо, л	10	220	2200	2,1	280	2200	1,9
Вода, м <sup>3</sup>	23	36,5	840	0,8	37,8	870	0,7
Непрямі							
Підстилка, ц	7,3	30	220	0,2	30	220	0,2
Інвестовані							
Використані основні засоби: технічні, кг	105	160	16800	15,8	160	16800	14,4
будівлі і споруди, м <sup>2</sup>	50,3	18	905	0,8	18	905	0,8
Всього ( $E_c$ )	x	x	106235	100	x	116595	100
Річний обсяг виробництва молока ( $O_r$ ), ц	x	45,0			55,0		
Енергоємність ( $E_e$ ), МДж/ц	x	2360,8			2119,9		

Примітка: у розрахунках енерговіддача не визначалась через вельми незначну її величину

Джерело: розрахунки автора

В останні роки у тваринництві спостерігається тенденція зростання енергоємності продукції. Однак, закономірність її підвищення залишається недостатньо дослідженою в виробничих умовах, оскільки фактичні витрати по тваринницьким фермам (комплексам) індивідуальні, схильні до значного коливання і залежать від багатьох факторів.

Визначивши енергоємність продукції тваринництва в звітному (базовому) році, розраховують її зниження або підвищення в порівнянні з минулим роком або плановими показниками. Для цього користуються формулою:

$$I_{\%} = \frac{E_c^{\delta} - E_c^{\text{мн}}}{E_c^{\delta}} 100 = \left(1 - \frac{E_c^{\text{мн}}}{E_c^{\delta}}\right) 100, \quad (3.22)$$

де  $I_{\%}$  – індекс, виражений у відсотках, співвідношення порівнюваних енергоємностей продукції тваринництва.

У наведеній формулі під індексом  $\delta$  мається на увазі показники звітнього (базового) періоду, а під індексом  $\text{пп}$  – прийняті для порівняння. Порівняння звітніх (фактичних) показників енергоємності може проводитися з плановими або нормативними показниками, між окремими тваринницькими фермами (комплексами) і птахофабриками, з показниками передових господарств регіону.

Питома енергоємність, включена в загальну систему показників ефективності виробництва продукції тваринництва, дозволяє:

– на стадії планування обґрунтувати потребу в енергоресурсах для виробництва певного виду продукції тваринництва;

– застосовувати енергозберігаючі технології і уточнювати вимоги до енергетичного устаткування;

– систематично проводити енергетичний аналіз з подальшою розробкою заходів по економії енергії та енергоносіїв, які використовуються для здійснення виробничих процесів на тваринницькій фермі, комплексі або птахофабриці.

Слід зазначити, що енергоємність виробництва продукції тваринництва в Білорусі більш ніж в 2 рази перевищує цей показник провідних країн ЄС. І завдання вітчизняних господарюючих суб'єктів полягає в тому, щоб питому енергоємність продукції тваринництва звести до нормативного рівня. Найважливіші фактори і шляхи зниження енергоємності продукції тваринництва впливають з формули її обчислення, з якої можна зробити однозначний висновок, що питома енергоємність продукції ( $E_c$  – питома сукупна витрати енергії на виробництво одиниці продукції тваринництва) буде зменшуватися в двох випадках, по-перше, при зменшенні чисельника ( $E_c$  – сума прямих, непрямих та інвестованих енерговитрат за рік) і збільшенні знаменника ( $O_t$  – річний обсяг виробництва продукції тваринництва).

Отже, зниження питомої енергоємності продукції тваринництва або підтримання її стабільного рівня передбачає два паралельні процеси, по-перше, зростання обсягів виробництва продукції тваринництва в основному за рахунок збільшення поголів'я та підвищення продуктивності тварин і птиці; по-друге, зниження споживання енергії та енергоносіїв.

Що стосується енерговитрат, то вище вже були всебічно і повно висвітлені основні заходи, способи і шляхи, спрямовані на енергозбереження та економію енергоресурсів в основних виробничих процесах у тваринництві. Тим не менш, деякі аспекти цієї проблеми залишилися поза увагою [5, с. 598].

По-перше, у зв'язку з дефіцитом і зростанням цін на енергоресурси особливої актуальності має використання альтернативних нетрадиційних джерел енергії (енергії сонця, вітру, біогазу тощо) і місцевих видів палива. Застосування геліоустановок або сонячних колекторів для нагріву води для технологічних потреб забезпечує зниження витрат електроенергії до 33 %.

По-друге, важливим джерелом теплової енергії може бути солома сільськогосподарських рослин, енергетичну цінність якої можна прирівняти до дров. Технологія збирання соломи з перспективами подальшого її використання на паливо не відрізняється від традиційної. Залишені комбайном валки підбираються прес-підбирачами будь-якого типу. При цьому солома повинна бути досить сухою. Потім пресована солома складається поблизу місця використання.

По-третє, досить ефективне застосування газогенераторних установок на місцевих видах палива. Вони використовують простий і добре перевірений спосіб перетворення твердого палива в газоподібний. При цьому в якості твердого палива можуть використовуватися і утилізуватися відходи лісозаготівельного, деревообробного, гідролізного виробництв, а також торф і побутові відходи вологістю не вище 35 %. Сучасні газогенератори мають модульну конструкцію і можуть працювати з різними тепловими пристроями.

По-четверте, до економії енергоресурсів у тваринництві безпосереднє відношення мають заходи з енергозбереження в електроприводах машин і механізмів. Досвід і практика показують, що використання регульованих електроприводів дозволяє скоротити споживання електроенергії від 25 % до 50 % в залежності від механізму, в якому він встановлений. Якщо середнє завантаження електродвигуна не перевищує 45 %, його доцільно замінити на менш потужний, що дозволить заощадити витрати електроенергії до 5 %. Істотне зниження питомих витрат палива, теплової та електричної енергії базується на впровадженні принципово нових машин і механізмів, що забезпечують енергетичну економічність, багатофункціональність і більш високий енергетичний ККД. Машина, що працює понад свій нормативний термін служби, як правило, в 1,5 – 2 рази більше витрачає палива, ніж нова, що підвищує енергетичну складову витрат на виробництво продукції.

По-п'яте, важливим фактором зниження енергоємності продукції тваринництва є розробка і впровадження ефективних ресурсозберігаючих технологій і енергетичних установок нового покоління, широке використання відновлюваних джерел енергії, створення автономних систем і засобів “малої енергетики” для великих тваринницьких об'єктів на основі перетворення сонячної та вітрової енергії в електричну та теплову, нових способів переробки рослинних і деревних відходів, торфу та інших матеріалів в гранульоване, рідке або газоподібне паливо.

По-шосте, ефективними електрозберігаючими заходами є: оптимізація регулювання рівня освітленості в різних виробничих приміщеннях, автоматичне відключення зовнішнього освітлення в денний час, установка люмінесцентних і дугових ртутних ламп. Зниження втрат на освітлення можливо також за рахунок фарбування стін і стель світлою фарбою, побілки їх крейдою або вапном, своєчасного миття вікон та світильників. І, нарешті, забезпечення мінімального споживання енергії та енергоносіїв на окремі види продукції тваринництва в виробничо-господарських умовах можливо на основі нормування енергоспоживання.



Основні вимоги до енергетичного обліку – максимальна диференціація, точність і оперативність. Диференціація обліку необхідна для того, щоб окремо враховувати споживання всіх видів енергії в кожній ланці енергетичного господарства, виробничих підрозділів підприємства і окремому агрегаті. Оперативність обліку необхідна для своєчасного реагування на зміни в обстановці, відхилення, збої в енергоспоживанні та енергопостачанні; тому найкращий безперервний облік або періодичний з мінімальним часом між черговими вимірюваннями. Точність обліку необхідна для правильного встановлення норм витрати енергії та відхилень від них, для складання достовірних енергетичних балансів.

У процесі формування енергоємності продукції тваринництва важливо організувати моніторинг, що полягає в постійному або періодичному спостереженні за певним виробничим процесом з метою виявлення відхилень фактичних витрат енергоносіїв від затверджених норм споживання. Вся інформація, отримана в результаті енергетичного моніторингу, є вихідним матеріалом для проведення аналізу енергоспоживання та ефективності використання енергоресурсів з виявленням основних факторів, що впливають на споживання енергії кожним об'єктом та здійснюють той чи інший вплив на формування енергоємності продукції тваринництва. В результаті аналізу можуть бути обчислені показники питомого споживання енергії на окремі види енергоресурсів та об'єкти та їх відхилення від затверджених норм, визначені втрати енергії за рахунок втрат енергоносіїв, неправильної експлуатації машин і устаткування, виявлені резерви економії енергоносіїв тощо.

При проведенні енергетичного моніторингу слід мати на увазі, що ефективна та економна робота енергоспоживаючого обладнання можлива тільки при добре організованій експлуатаційній службі, яка повинна мати у своєму розпорядженні стаціонарні й пересувні технічні засоби з технічного обслуговування та ремонту встановленого обладнання, мати аварійний запас технічного оснащення й необхідний резерв запасних частин.

Складовою частиною нормування витрат енергоресурсів, що використовуються у виробничих процесах, є лімітування (від фр. Limite – межа) енергоспоживання, встановлення граничної норми витрат конкретного енергоресурсу. Це особливо важливо в системі внутрішньогосподарських економічних відносин на основі внутрішньогосподарського економічного розрахунку.

Отже, проблему зменшення енергоємності виробництва продукції тваринництва до нормативного рівня треба розглядати не як самоціль, а як найважливіший засіб поліпшення якості, зниження собівартості і підвищення її конкурентоспроможності на внутрішньому та зовнішньому ринках.

### **3.7. Оцінка енергетичної ефективності робочих машин поточкових ліній очищення зерна**

© Постнікова М. В.

*к.т.н., доцент, доцент кафедри електротехніки і електромеханіки ім. професора  
В. В. Овчарова, Таврійський державний агротехнологічний університет, м. Мелітополь, Україна*

Раціональне використання електроенергії на зернопунктах, оснащених енергоємним технологічним устаткуванням, особливо актуально тепер, коли прийнята Національна енергетична програма України з енергозбереження. Відомо, що одиниця зекономленої електроенергії може заощадити не менш 5 одиниць первинних енергоресурсів.

Один з шляхів раціонального використання електроенергії поточковими лініями обробки зерна на зернопунктах – розробка науково-обґрунтованих питомих норм витрати електроенергії, впровадження яких дозволить заощаджувати 8 – 10 % електроенергії [5, с. 511].

Аналіз показав, що проблема нормування витрати електроенергії стосовно до зернопунктів у цей час не одержала належного вирішення і вимагає подальшого вдосконалювання в напрямку розробки науково-обґрунтованих питомих норм витрати електроенергії на основі математичного моделювання предмета дослідження і розв'язку оптимізаційних завдань [1, с. 94].

Існуючі методи нормування електроенергії, як правило, не враховують вплив конструктивних параметрів робочих машин поточкових ліній на питому витрату електроенергії.

У зв'язку із цим виникає необхідність проведення досліджень по визначенню раціональних конструктивних параметрів робочих машин, вибору потужності приводних електродвигунів і оптимальних коефіцієнтів корисної дії (ККД) передачі [6, с. 75].

Використання багатофакторного математичного експерименту при дослідженні процесів очищення зерна на поточкових лініях дозволяє при невеликій кількості дослідів визначити оптимальні умови очищення зерна на поточкових лініях і дати рекомендації з удосконалення робочих машин поточкових ліній і керуванням процесом очищення зерна [2, с. 45].

Проведені теоретичні дослідження із застосуванням методу планування математичного експерименту (ПМЕ) [3, с. 93].

Методологія проведення перебудови математичної моделі об'єкта дослідження методом ПМЕ з вирішенням задачі аналізу об'єкта докладно розглядається на прикладі дослідження впливу режимних і конструктивних параметрів робочих машин поточкових ліній очищення зерна на питому витрату електроенергії.

При дослідженні залежності енергетичних характеристик від режимних і конструктивних факторів робочих машин зерноочисного агрегату ЗАВ-20 згідно алгоритму дослідження (рис. 3.5) споживаної потужності електродвигунів робочих машин процесу очищення зерна в якості функції відгуку обрана споживана потужність електродвигунів робочих машин. В якості змінних факторів, що оказують вплив на потужність, обрані режимні і конструктивні параметри робочих машин [6, с. 75].

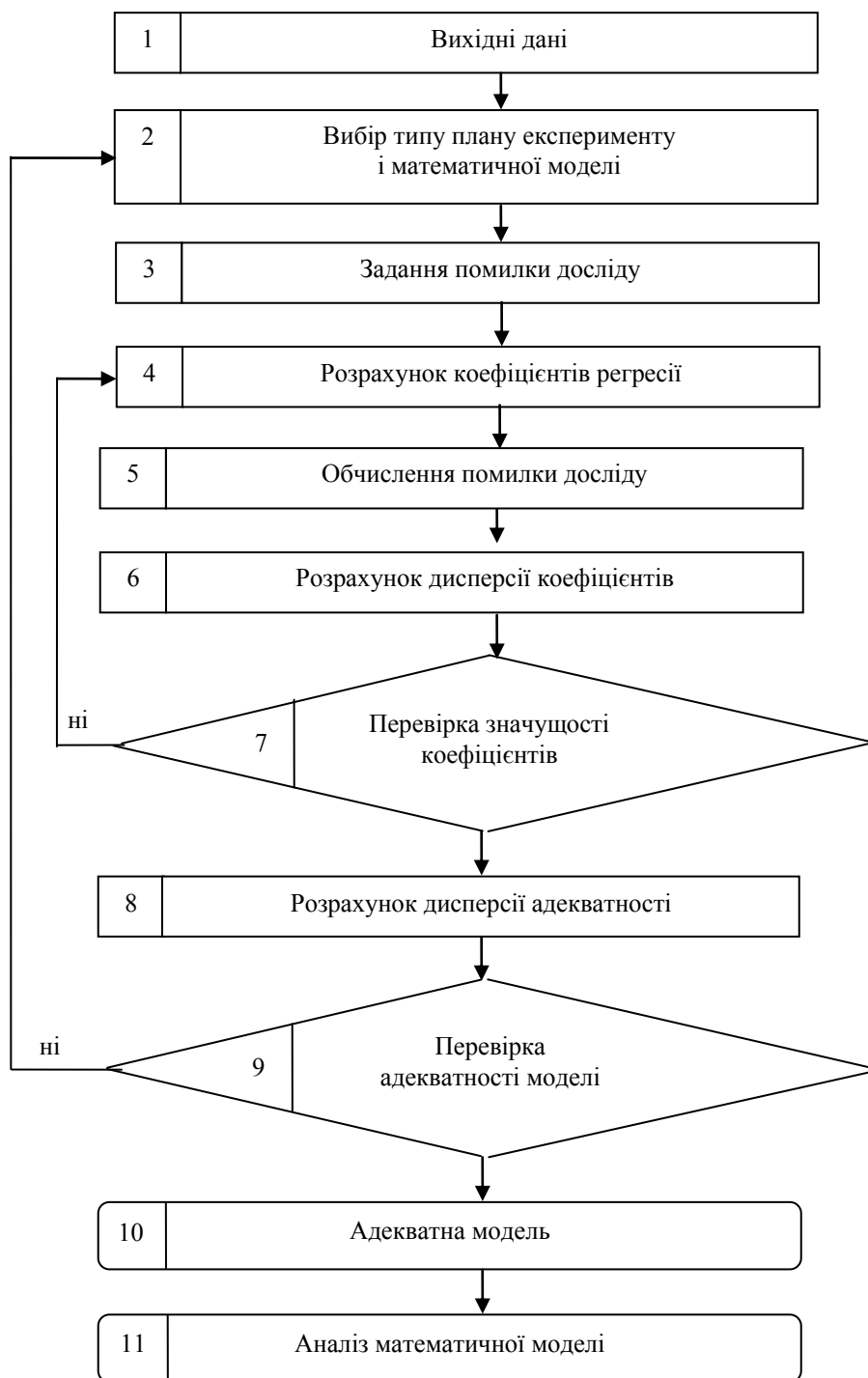


Рис. 3.5. Алгоритм дослідження спожитої потужності електродвигунів робочих машин процесу очищення зерна

*Джерело: авторська розробка*

На структурній схемі математичної моделі споживаної потужності електродвигуна зерноочисної машини (рис. 3.6) представлений вибір змінних режимних і конструктивних факторів, що оказують вплив на споживану потужність і вплив постійних параметрів [6, с. 77].

Для зерноочисної машини агрегату ЗАВ-20, потужність, яку споживає електродвигун можна визначити [6, с. 75]:

$$P_{\text{спож}} = \frac{38,348 \cdot Q \cdot G}{B \cdot \gamma \cdot n \cdot \eta_{\text{пер}} \cdot \eta_{\text{дв}}} \quad (3.23)$$

Математичний опис енергетичних характеристик визначався шляхом варіювання кожного з факторів на двох рівнях, що відрізняються від основного на величину кроку  $\pm \Delta x_i$ . Вибір факторів, інтервалів варіювання, рівнів (табл. 3.18) визначався на основі аналізу апріорної інформації.

Таблиця 3.18

Рівні факторів і інтервали варіювання (ЗАВ-10.30000)

Рівні факторів	Нормована величина	$x_1$ , т/год.	$x_2$ , дм	$x_3$ , колив./хв.	$x_4$ , град.	$x_5$ , в.о.
Верхній рівень	+ 1	10,0	10,4	490,0	30,0	0,8
Основний рівень	0	6,5	9,9	440,0	27,0	0,75
Нижній рівень	- 1	3,0	9,4	390,0	24,0	0,7
Шаг варіювання	$\Delta x$	$\pm 3,5$	$\pm 0,5$	$\pm 50,0$	$\pm 3,0$	$\pm 0,05$

Джерело: узагальнено авторами за даними [3, с. 93]

В математичній моделі (рис. 3.6) прийнято:

- $x_1$  – продуктивність зерноочисної машини, (Q), кг/с;
- $x_2$  – ширина решета, (B), дм;
- $x_3$  – число коливань решітного стану, (n), колив./хв.;
- $x_4$  – кут між напрямком коливань і площиною решета, ( $\gamma$ ), град.;
- $x_5$  – коефіцієнт корисної дії передачі, ( $\eta_{\text{пер}}$ ), в.о.;
- $x_6$  – маса решітного стану, (G), кг;
- $x_7$  – коефіцієнт корисної дії електродвигуна, ( $\eta_{\text{дв}}$ ), в.о.;
- y – спожита потужність електродвигуна, ( $P_{\text{спож}}$ ), кВт.

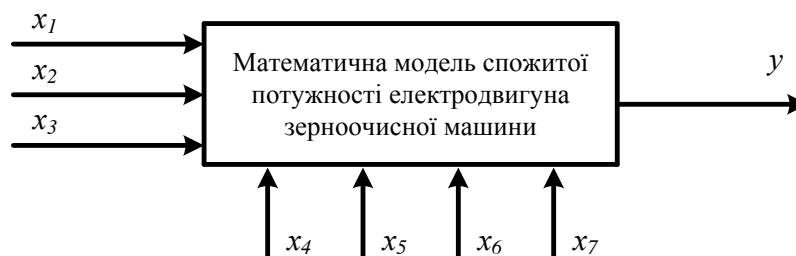


Рис. 3.6. Структурна схема математичного моделювання

Джерело: авторська розробка

Перевірка відтворюваності дослідів полягає в оцінці однорідності порядкових дисперсій у матрицях плану. Для нормального закону розподілу середня квадратична помилка або стандарт:

$$\sigma = \sqrt{\sigma^2},$$

де  $\sigma^2$  – дисперсія помилки.

Передбачається, що прийнятна помилка 2 %, тобто  $\sigma = 0,02$ ,  $3\sigma = 0,06$ ;  $\sigma^2 = 0,0036$ . При повному факторному експерименті (ПФЕ) дисперсія відтворюваності дослідів [3, с. 93].

$$S_B^2(y) = \sigma^2 \quad (3.24)$$

$$S_B^2(y) = 0,0036.$$

Далі для одержання математичної моделі об'єкта дослідження у вигляді рівняння регресії проводилася обробка результатів експерименту (у цьому випадку аналітичних розрахунків значень функції y), яка в ПМЕ містить у собі: визначення коефіцієнтів рівняння регресії, статистичну оцінку значимості коефіцієнтів регресії, перевірку адекватності отриманої математичної моделі [6, с. 78 – 81].

В результаті розрахунків було отримане рівняння регресії для розрахунку енергетичної характеристики зерноочисної машини залежно від режимних і конструктивних факторів (коефіцієнти значимі) в кодованих одиницях [6, с. 79]:

$$\bar{y} = 0,5857 + 0,3182x_1 - 0,0629x_3 - 0,084x_4 - 0,0705x_5 \quad (3.25)$$

і натуральних значеннях факторів [6, с. 81]:

$$P_{\text{спож.}} = 2,36 + 0,09Q - 0,0012n - 0,028\gamma - 1,41\eta_{\text{пер}} \quad (3.26)$$

Питома витрата електроенергії визначалася за формулою:

$$W_{\text{пит.}} = \frac{P_{\text{спож.}}}{Q}, \quad (3.27)$$

де  $P_{\text{спож.}}$  – потужність, спожита машиною з мережі, кВт;

$Q$  – продуктивність машини, т/год.

Потужність, споживана машиною з мережі, є підсумком сумарного впливу різних технічних і технологічних факторів.

Отже, питома витрата електроенергії є підсумком сумарного впливу різних факторів. Усі ці фактори впливають незалежно друг від друга.

Як видно з рівняння (3.26) параметрами, що впливають на споживану потужність електродвигуна, а отже й на питому витрату електроенергії зерноочисної машини ЗАВ-10.30000, є продуктивність, число коливань решітного стану, кут між напрямком коливань і площиною решета, а також коефіцієнт корисної дії передачі. Як показують розрахунки, питома витрата електроенергії при зміні числа коливань решітного стану в межах  $n = 390 - 490$  коливань (рис. 3.7) змінюється по-різному.

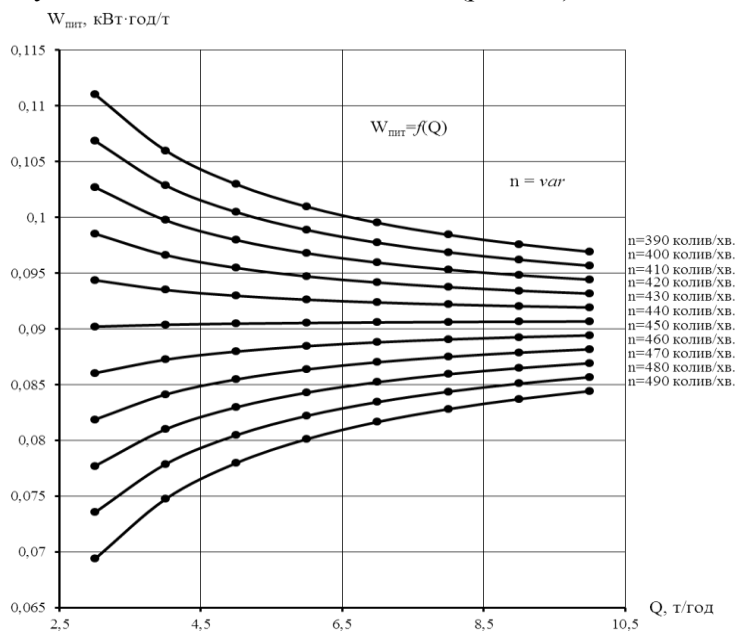


Рис. 3.7. Залежність  $W_{\text{пит.}} = f(Q)$  при  $n = \text{вар}$  для ЗАВ-10.30000

Джерело: авторська розробка

При  $n = 390 - 430$  коливань питома витрата електроенергії зменшується при збільшенні продуктивності, а при  $n > 440$  коливань відбувається зворотний процес: при збільшенні продуктивності питома витрата електроенергії збільшується. При  $n = 440$  коливань питома витрата електроенергії майже не змінюється.

Отже,  $n = 440$  коливань є оптимальним числом коливань решітного стану з погляду витрат електроенергії при дотриманні агротехнічних вимог до якості очищення зерна.

Що стосується кута між напрямком коливань і площиною решета  $\gamma = 24 - 30^\circ$ , то оптимальним кутом з погляду витрат електроенергії при дотриманні агротехнічних вимог до якості очищення зерна є кут  $\gamma = 27^\circ$  (рис. 3.8).

Робочі органи зерноочисної машини приводяться в дію від електродвигуна трьома клиноремінними та однією ланцюговою передачами, розташованими по обидва боки. При  $\eta_{\text{пер}} = 0,7 - 0,74$  питома витрата електроенергії зменшується при збільшенні продуктивності, а при  $\eta_{\text{пер}} > 0,75$  відбувається зворотний процес: при збільшенні продуктивності питома витрата електроенергії збільшується (рис. 3.9). Отже, оптимальним ККД є  $\eta_{\text{пер}} = 0,75$ .

Аналогічні теоретичні дослідження були проведені для інших робочих машин, які працюють у потокових лініях зерноочисного агрегату ЗАВ-20: норія завантажувальна НПЗ-20, трієр ЗАВ-10.90000, скребковий транспортер ЗАВ-10.50000 [6, с. 84 - 90].

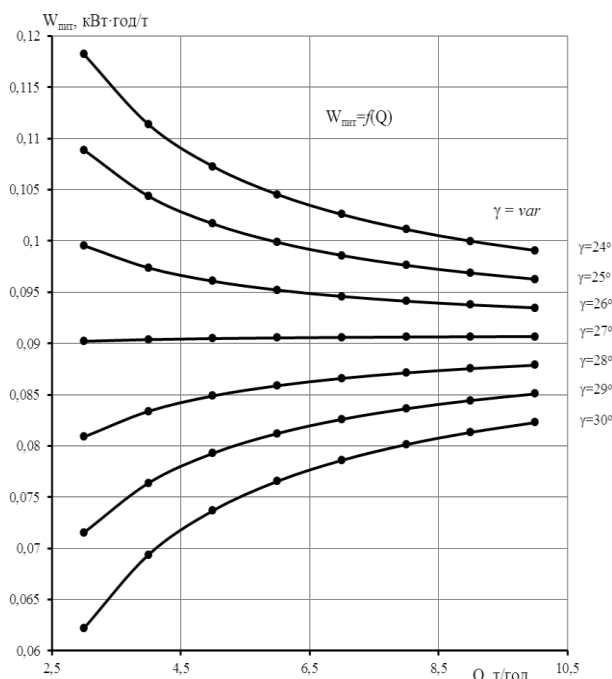


Рис. 3.8. Залежність  $W_{\text{питт}} = f(Q)$  при  $\gamma = \text{var}$  для ЗАВ-10.30000

Джерело: авторська розробка

Проведені дослідження дозволили визначити мінімальні питомі витрати електроенергії робочих машин при очищенні зерна на поточкових лініях ЗАВ-20. Так як мінімальна питома витрата електроенергії поточної лінії є підсумком сумарного впливу мінімальних питомих витрат електроенергії робочих машин, то за допомогою методу сумарних потужностей була визначена сумарна мінімальна питома витрата для кожної поточної лінії ЗАВ-20 [4, с. 60; 7, с. 134].

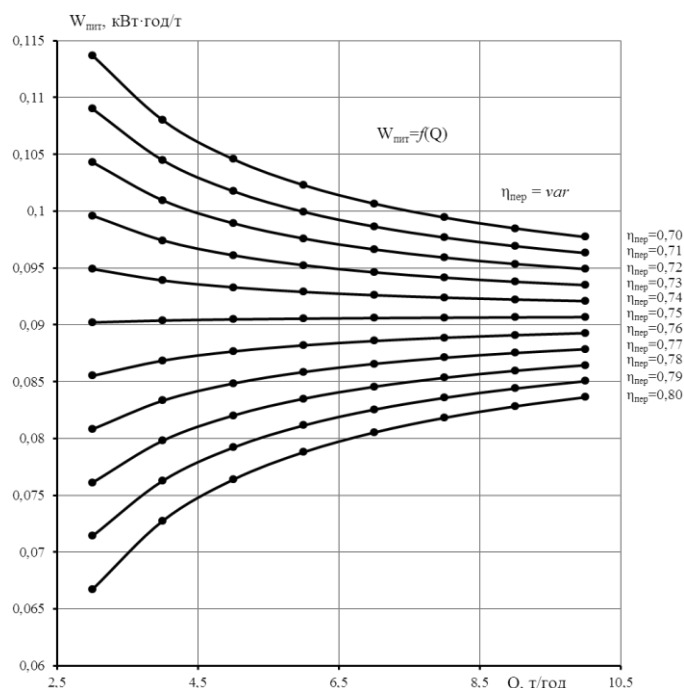


Рис. 3.9. Залежність  $W_{\text{питт}} = f(Q)$  при  $\eta_{\text{пер}} = \text{var}$  для ЗАВ-10.30000

Джерело: авторська розробка

Це дозволило розробити науково-обґрунтовані норми питомої витрати електроенергії для технологічних схем очищення зерна на агрегаті ЗАВ-20 (табл. 3.19).

Межі відхилень питомої витрати електроенергії  $\Delta W_{\text{питт}}$  визначалися методом планування математичного експерименту. Для цього для кожного електродвигуна поточної лінії за формулами для визначення потужності електродвигуна були встановлені відхилення величин, які входять у формули. При розрахунках меж відхилень питомих витрат електроенергії враховувалася участь кожної робочої машини в потоці.

**Рекомендовані науково-обґрунтовані норми втрати електроенергії  
при очищенні зерна на потокових лініях зерноочисного агрегату ЗАВ-20**

Технологічні схеми	Продуктивність, т/год.	Розрахункові дані, $W_{\text{пит. розр.}}$ , кВт-год./т	$\Delta W_{\text{пит.}}$ , кВт-год./т	$W_{\text{пит. реал.}}$ , кВт-год./т
Зерноочисний агрегат	20	0,568	+ 0,105	0,673
1 – одна лінія з трієром	7,5	2,393	+ 0,082	2,475
2 – одна лінія без трієра	10	1,623	+ 0,103	1,726
3 – дві лінії з трієрами	15	1,464	+ 0,098	1,562
4 – дві лінії без трієрів	20	0,933	+ 0,136	1,069

*Джерело: розраховано автором*

Отже, маючи розрахункові значення мінімально можливого значення питомої витрати електроенергії потокових ліній очищення зерна і межі відхилення питомої витрати електроенергії одержуємо реально здійсненну норму витрати електроенергії  $W_{\text{пит. реал.}}$  (табл. 3.19). Реально здійсненна норма питомої витрати електроенергії відрізняється від розрахункової на 8,08 – 9,8 %.

Науково-обґрунтовані норми питомої витрати електроенергії були обговорені та схвалені на технічній раді Запорізького обласного, Мелітопольського районного управління сільського господарства та Великопетиського районного управління сільського господарства Херсонської області.

Рекомендовані науково-обґрунтовані норми електроспоживання призначені для планово-економічних відділів обласних управлінь сільського господарства для планування та контролю витрати електроенергії на технологічні процеси очищення зерна на потокових лініях зерноочисних агрегатів півдня України. Аналогічні дослідження проводяться для інших зерноочисних агрегатів, які випускає промисловість.

Отже, вперше розроблений теоретичний метод перебудови математичної моделі об'єкта дослідження з метою визначення оптимального значення предмета дослідження з використанням методу планування математичного експерименту стосовно до технологічного процесу очищення зерна. Це дозволило вдосконалити метод нормування витрати електроенергії і одержати норми витрати електроенергії потокових технологічних ліній агрегату ЗАВ-20.

### 3.8. Енергетична оцінка матеріальних активів

© Дивнич А. В.

*судовий експерт відділу економічних досліджень Полтавський  
науково-дослідний експертно-криміналістичний центр МВС України, м. Полтава, Україна*

© Дивнич О. Д.

*к.е.н., доцент кафедри економіки підприємства  
Полтавська державна аграрна академія, м. Полтава, Україна*

Відповідно до нормативно встановленого визначення [1], активами визнаються будь-які ресурси, контрольовані підприємством у результаті минулих подій. Необхідною ознакою належності матеріального об'єкта до активу є:

1) наявність певного ступеня корисності, тобто хоча б одного параметру, завдяки якому суб'єкт господарювання на законних підставах може отримати економічні вигоди у майбутньому;

2) визначена правова характеристика об'єкта, тобто наявність юридичних прав на нього та визнання майном саме цього підприємства.

Зрозуміло, що до зазначених ресурсів можуть належати різноманітні об'єкти відповідно до обраної бізнес-моделі. Тому для ефективного обліку та управління різноманітним майном застосовується вартісний вимірник.

Зазначимо, що сутність категорії “вартість” як фундаментальної економічної категорії вивчається до теперішнього часу. Нормативне визначення вартості передбачає її розуміння в сенсі еквіваленту цінності об'єкта, вираженому у найбільшій сумі грошей, яку може отримати продавець та може погодитися сплатити покупець [2]. З такого визначення випливає, що:

– універсальним вимірником вартості виступають гроші, як правило, національна валюта країни, в якій здійснюється господарська діяльність. Проте гроші не є ідеальним еквівалентом через курсову волатильність, інфляційну невизначеність (змінну купівельну спроможність), а також унаслідок чинника впливу спекулятивних операцій на фінансовому ринку (з грошовими ресурсами, іншими фінансовими активами та деривативами). В умовах прискорення економічних процесів останнє може викликати необґрунтоване зростання кон'юнктури галузевих ринків, швидкий ріст та руйнування

“бульб”; застосування інструментів антициклічної політики часто виявляється запізнілим. Тому оцінювачі при визначенні теперішньої вартості майбутніх грошових надходжень від використання об’єкта змушені враховувати співвідношення “прибутковість/ризиковість” господарського використання активу;

– сутність вартості не передбачає чіткої параметризації, тому виражається через суб’єктивні, проміжні (і також суб’єктивні) поняття “цінність” та “корисність”. Вказане призводить до підвищення компетентнісних та етичних вимог до особи – оцінювача;

– уявлення про величину вартості одного й того самого об’єкта суттєво варіює залежно від юридично підтверджених майнових прав на прагнення контролювати (використовувати) майнові права щодо активу. Тобто різні суб’єкти – продавець/орендодавець, та покупець/орендар з огляду на відмінність інтересів часто мають протилежні погляди про вартість майна та пов’язаних з ним прав. Такий конфлікт стимулює учасників ринку до інновацій та підвищення власної ефективності. Продавці змушені здійснювати пошук шляхів зменшення собівартості для можливості цінової конкуренції, підвищення якості продукції, а покупці – постійне дослідження ринку з метою знаходження найбільш привабливої пропозиції для задоволення своїх потреб;

– вимога врахування принципу найбільш ефективного використання майна при його оцінці породжує множинний характер альтернативних напрямів його використання. Крім того, різні функції об’єкта детермінують базу (ринкова, неринкова) та мету такої оцінки. Саме тому у чинному національному стандарті № 1 “Загальні засади оцінки майна і майнових прав” [2] передбачено 12 видів вартості майна. У даному аспекті слід наголосити на необхідності розподілу правомочностей, сукупність яких утворює право власності щодо об’єкта: володіння, користування, розпорядження. Наявність у суб’єкта таких правомочностей, їх комбінування здійснює прямий вплив на прояв вартості майна залежно від економічної сутності операції з об’єктом – за термінологією класичної політекономії, розвинутою у дослідженнях К. Маркса, – “споживна” (у сфері переробки чи споживання) та “мінова” (у сфері обігу) види вартості [3, с. 42].

Вказані чинники визначають імовірнісну природу категорії “вартість”, формування якої тісно пов’язано із структурним розвитком соціальних систем. Такий розвиток, крім науково-технічних досягнень, досі супроводжується ірраціональними з економічної точки зору процесами, девіаціями та протиріччями (створення економічних систем неринкового типу, автократичних режимів, збройні сутички, споживання наркотиків тощо). Тому й процес оцінки матеріальних активів у грошовому вимірнику наразі перетворився на мистецтво застосування різних коригуючих коефіцієнтів, приведення цінових значень до співставного виду та взаємоузгодження отриманих результатів.

Намагання пояснити прояви вартості та здійснити її параметризацію, що відображає інтереси різних учасників ринку, призвело до визначення різних теорій вартості та формалізацію відповідних оціночних підходів (табл. 3.20).

Таблиця 3.20

**Теорії вартості у контексті інтересів різних економічних суб’єктів**

Теорія вартості	Вартісноутворюючий чинник	Суб’єкт, інтерес якого виражає теорія	Оціночний підхід (згідно з [4])
Ресурсна	Обсяг ресурсів чи витрат на залучення ресурсів, необхідних на відтворення/заміщення об’єкта	Виробник	Витратний
Трудова (частковий випадок ресурсної теорії)	Обсяг суспільно необхідних витрат праці на створення об’єкта чи його аналога у певних суспільно-економічних умовах	Найманий працівник	
Граничної корисності	Суб’єктивна оцінка споживача щодо ступеня задоволення певної потреби при використанні одиниці корисності, носієм якої є об’єкт оцінки	Споживач	Дохідний
Балансу попиту і пропозиції	Кон’юнктура ринку певної видової, територіальної, часткової належності	Множина учасників ринку	Порівняльний

*Джерело: авторська розробка*

Інтереси практично всіх суб’єктів за табл. 3.20 інтегрує ідеальна модель раціонального та обізнаного інвестора. Саме з позиції такого інвестора впливають загальноприйняті принципи оцінки [5, с. 14]. Останній в умовах досконалого ринку не сплачуватиме за певний актив більше, ніж:

1) розмір витрат, необхідних для створення/заміщення активу з еквівалентною корисністю (за логікою витратного підходу);

2) величина можливих доходів від його експлуатації за умови найбільш ефективного використання (дохідний підхід);

3) зважений показник ринкової кон'юнктури з урахуванням тренду динаміки ринку (порівняльний підхід).

Американськими фахівцями зазначається, що доходний та витратний підходи є частковими випадками порівняльного (ринкового) підходу [5, с. 28], оскільки вихідна інформація для здійснення оціночних процедур ґрунтується саме на ринкових даних.

Проте, зазначені базові передумови у теперішньому реальному економічному середовищі (особливо із викривленням ринкових стимулів унаслідок мілітаризації економіки, недотриманням міжнародних та національних правових норм тощо) практично недосяжні. Серед чинників, що зумовлюють зміщення оціночних параметрів певного об'єкта, можливо виокремити:

– перманентний дефіцит даних, відсутність у суб'єктів достовірних “сигналів” ринку як через недостатнє інформаційне забезпечення, так і через так звані “провали” ринку;

– нераціональність, і як наслідок, – непередбачуваність поведінки окремих економічних суб'єктів у відношенні окремого активу. Величина вартості формується в уяві особи, що приймає рішення. В свою чергу, психологічні особливості людини виходять поза межі існуючих економічних моделей. Саме тому дослідженням з поведінкової економіки приділяється посилена увага, а науковці у даній сфері нагороджуються найпрестижнішими відзнаками (так, лауреатами премії пам'яті А. Нобеля стали психолог Д. Канеман (2002 р.) – “за інтегроване розуміння психологічних досліджень з економічної науки, особливо стосовно людського судження та прийняття рішень в умовах невизначеності” [6], та Р. Талер (2017 р.) – “за дослідження економічних наслідків обмеженої раціональності, соціальних уподобань і проблеми самоконтролю для індивідуальних рішень людей та поведінки ринків” [7]);

– недоліки грошей як універсального вимірника, що є самостійним товаром, об'єктом фінансових інвестицій, спекулювання з боку національних державних органів, інших суб'єктів, і, часто – причиною ринкових флуктуацій;

– необхідність постійного приведення доступних вартісних значень для порівняльної співставності величин, що може призвести до викривлення об'єктивних показників у грошовому вимірнику.

З наведених причин документ про оцінку (звіт оцінювача, висновок експерта) має обмежену чинність у часі, і перед застосуванням повинен бути актуалізований.

Тому певною мірою має право на життя фізіократичний підхід із застосуванням в якості універсального обмінного вимірника “природної субстанції” (у термінології Ф. Кене [8, с. 188] – прим. авторів) енергетичного еквіваленту. Практично всі предмети матеріального світу є носіями енергії. Дослідження енергетичних трансформацій у процесах виробництва, розподілу, використання та утилізації (з точки зору життєвого циклу окремого об'єкта) та у процесах відтворення у зв'язку з можливістю оперування фізичними (а не уявними вартісними) даними були б більш об'єктивними.

Слід вказати, що перехід до альтернативного грошам обмінного вимірника історично відбувалося одночасно із втратою ними своїх функцій. Так, при зниженні порогового значення купівельної спроможності (констатації гіперінфляції) функції засобу платежу доволі швидко переходять до звичайних товарів. При цьому справедливою є вимога щодо менших трансакційних витрат на здійснення бартерних операцій, ніж значення інфляції за аналогічний період здійснення такої трансакції.

Крім того, доведено наявність певного, неврахованого виробничого чинника – природного капіталу, який наразі використовується практично безоплатно [9, с. 251]. Опосередкованим підтвердження цього є систематично найбільше значення фондів відічі на одиницю залишкової вартості основних засобів у сільському господарстві України порівняно з іншими галузями національної економіки. Така диспропорція яскраво проявляється на фоні специфічної особливості аграрної сфери – обмеженості ефекту масштабу унаслідок територіальної розосередженості та звужених можливостей до концентрації засобів виробництва, а також підвищеної ризиковості господарювання через залежність від непередбачуваних погодних умов.

Доволі успішні спроби впровадження енергетичної оцінки ефективності господарських процесів та залучених у виробництво матеріальних та трудових ресурсів здійснювалися науковцями ще за часів колишнього СРСР [10, с. 4]. При цьому побудова енергобалансу виробництва пов'язувалася з розумінням вичерпності традиційних енергоресурсів у майбутньому. Подальші розробки українських дослідників мали на меті впровадження енергетичної/біоенергетичної оцінки ресурсів та технологій з точок зору подолання кризових явищ [11, с. 31], довгострокового планування циклу сівозміни [12, с. 7], з позицій забезпечення сталого розвитку [13, с. 4].

У вказаних працях здійснено енергетичну оцінку практично всіх ресурсів та процесів у сфері виробництва аграрної продукції з подальшим порівнянням ступеня енергетичної ефективності технологій у різних природно-кліматичних умовах.



Спільними ознаками зазначених досліджень щодо окремого об'єкта є:

– аналіз енергопотоків здійснювався поопераційно відповідно до витрат матеріальних і трудових ресурсів, енергоемності кожного елемента виробничої системи, та енергетичних надходжень (відповідно алгоритму “витрати-випуск”);

– розгляд окремої одиниці певного ресурсу виконувався лише в поєднанні з іншими елементами виробничої системи. Тобто, розрахунок енергоефективності окремого матеріального активу можливо здійснити у зворотному порядку, на основі інформації про кінцеві результати господарювання. Завдання щодо визначення варіантів з визначення найбільш ефективного використання, наприклад, в іншому агроформуванні чи на виробництві найенергоефективнішої культури, у принципі, не ставилося;

– провадилося чітке нормування енергомісткості. Причому враховувалися енергетичні потоки, по суті, безоплатних ресурсів (сонячна радіація, накопичена енергія ґрунтового покриву тощо).

Зазначені дослідження й у теперішній час не втратили своєї актуальності. Проте, нормативи енергоспоживання визначалися у розрахунку на технічні засоби, що наразі є переважно застарілими, чи взагалі знятими з виробництва. Суттєвих змін зазнали й технології вирощування сільськогосподарських культур. Тому інформаційне забезпечення оціночної діяльності вимагає актуалізації.

Стосовно ж проведення енергетичного дослідження окремого активу підприємства як об'єкта оцінки, то їх сприйняття з урахуванням наявних праць з енергетичного аналізу крізь призму усталених оціночних підходів суттєва ускладнено. У першу чергу, це стосується порушення принципу найбільш ефективного використання, з пошуком варіанту використання окремого об'єкта, за якого його енергоефективність буде максимальною.

Здійснення енергетичної оцінки, у принципі, можливо здійснювати згідно з логікою визначення вартості об'єкта у грошовій формі. Складність становить велика чисельність можливих видів активів (рухоме, нерухоме майно; об'єкти, які переносять свою корисність (трансформують уречевлену в них енергію) на готову продукцію упродовж одного чи кількох операційних циклів і тощо). Відповідно, доцільно застосовувати й дещо відмінні оціночні процедури.

Витратний підхід. За умовного отожднення величини корисності окремого об'єкта з параметром енергоефективності (тобто різницею між кількістю енергії, уречевленої в об'єкті, та кількістю енергії, що генерується шляхом використання вказаного об'єкта), життєвий цикл ресурсу тривалого (багатоопераційного) використання можливо відобразити наступним чином (рис. 3.10).

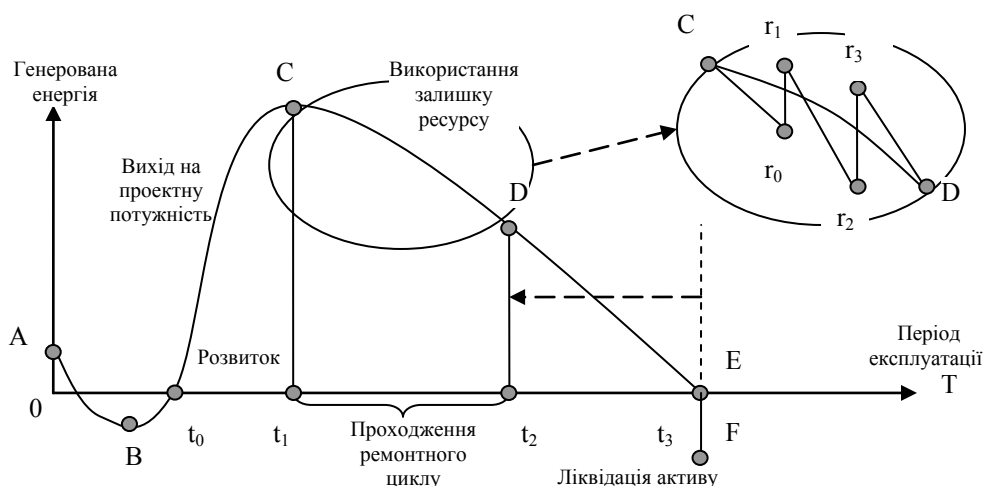


Рис. 3.10. Життєвий цикл матеріального активу з вичерпною корисністю довгострокового використання

Джерело: авторська розробка

Припускається, що на створення/заміщення одиниці активу витрачається певна кількість енергії (відрізок АВ), що до моменту початку господарського використання розглядається як чисті витрати. З початком експлуатації об'єкта різниця між вже спожитою (сума енергії, уречевленої в об'єкті, та поточними витратами на обслуговування) характеризується позитивними приростами (відрізок ВС), тобто за період  $0t_0$  досягає окупності. Надалі після досягнення екстремуму (точка С) позитивний енергетичний ефект продовжує зберігатися. За рахунок застосування заходів (проходження ремонтного циклу (відрізок CD: ремонт № 1 – відрізок  $r_0r_1$ , ремонт № 2 – відрізок  $r_2r_3$ , і тощо), на

певний період до певної межі відновлюється працездатний стан, а, отже, і можливості енергогенерації. Проте, наприкінці життєвого циклу отримання енергетичного ефекту дедалі звужується, й отримання величини умовного енергопоту порівняно з періодом  $t_0t_1$  із застосуванням саме цього активу без додаткових енерговитрат не досягається. Тому у період  $t_2t_3$  бажано провести продаж непридатного до подальшої експлуатації об'єкта, ніж здійснювати витрати подолання наслідків такого використання чи його утилізацію без можливості подальшої трансформації залишків уречевленої енергії (відрізок EF).

Хоча показники енергомосткості матеріальних активів можливо вважати як такі, що є найбільш дослідженими, проблематику оцінки становлять наступні чинники:

по-перше, ступінь актуальності раніше визначених показників (відповідність сучасним матеріалам, застосованим техніко-технологічним рішенням тощо);

по-друге – складність при встановленні фази життєвого циклу об'єкта, зносу об'єкта за всіма видами – фізичного, функціонального, економічного (зовнішнього) в енергетичному еквіваленті.

Порівняльний підхід. Серед усіх оціночних підходів застосування порівняльного (ринкового) при оцінці матеріальних активів становить найбільшу складність. Наявна сукупність таких активів може охоплювати об'єкти нерухомості (земельні ділянки, їх поліпшення), рухоме (наприклад, машини, обладнання, ручні знаряддя праці, сировину та матеріали тощо). Спроби охопити увесь перелік можливих об'єктів загалом приречені, оскільки змінюються людські потреби, змінюються технології, здійснюються винаходи нових матеріалів і речовин, що детермінує появу принципово нових об'єктів виробничого, культурно-побутового призначення тощо.

Проведення енергетичного аналізу на прикладі ж окремого об'єкта (наприклад, об'єкта нерухомості) також пов'язано з суттєвими труднощами. Кожна вартісноутворююча властивість об'єкта оцінки, нехай, в силу певних причин прихована (наприклад, через наявність певного конфлікту функції об'єкта з юридично дозволеними способами його найбільш ефективного використання), має конкретний грошовий вираз.

Натомість, як у прикладі з об'єктом нерухомості, енергетичний еквівалент всіх корисних властивостей встановити проблематично. Стосовно земельної ділянки, яка у сільському господарстві може виконувати функції операційного базису, предмету та засобу праці, умовний енергетичний еквівалент, з певними обмеженнями, можливо обґрунтувати лише до останніх двох характеристик.

Застосування порівняльного підходу в енергетичній оцінці може спричинювати певні суттєві наслідки. На перший погляд просте співставлення об'єкта з наявним на ринку подібним майном може виявитися некоректним. Річ у тім, що подібним вважається майно, яке характеризується двома ознаками: 1) воно за своїми параметрами максимально наближене до об'єкта оцінки; 2) має таку саму інвестиційну привабливість. Останнє ж підтверджується обсягом прав на об'єкт, який виступає предметом купівлі-продажу на ринку. Тобто, у результаті угоди відбувається оплатне передавання відповідних прав на об'єкт, що й формує ступінь його цінності.

Відповідно до ст. 317 Цивільного кодексу України [14], зміст права власності становлять права володіння, користування та розпоряджання своїм майном. І, якщо оплатне передавання окремих прав складає усталену юридичну практику, то проблематика здійснення коректного розподілу цих прав в енергетичному еквіваленті перешкоджає повноцінному застосуванню порівняльного підходу в енергетичній оцінці майна.

Також слід зазначити, що повноцінне застосування порівняльного методу може мати “право на життя” лише за умови існування ринку, процедури обміну на якому відбуваються із використанням саме енергетичного еквіваленту, без проміжних перетворень з грошового вимірника в енергетичний, і навпаки. В іншому випадку неминучим є ризик значних похибок вимірювання, що не можуть бути перевірені фактичними ринковими даними. Це, у свою чергу, може спричинити штучні диспропорції та зміщення ринкових стимулів.

Дохідний підхід. При визначенні факторного доходу від господарського використання майна традиційно розраховують два види платежів:

1) чистий операційний дохід, найчастіше – у формі орендної плати за користування майном, за виключенням операційних витрат на його утримання;

2) рентний дохід, тобто дохід від активу як виробничого чинника.

У першому випадку передбачається врахування безпосередніх надходжень від передачі права користування майном, і за існуючого інструментарію енергетичного аналізу для оцінки активу у більшості випадків або непридатний, або передбачає структурне наслідування витрат у грошовій формі. У другому – врахування частки від енергетичних надходжень, згенерованих суб'єктом господарювання під час використання об'єкта оцінки як різниці між прогнозованими енергетичними надходженнями, та величиною виробничих енергетичних витрат з нормальним прибутком виробника. Остання складова виражає необхідну передумову забезпечення розширеного відтворення виробництва.

У рамках доходного підходу слід вказати на проблематику обґрунтувати ставки дисконту, що формується за відмінними від вартісного вираження принципами.

Отже, незважаючи на безумовні переваги застосування об'єктивно існуючої фізичної величини – енергії, яка міститься у всіх матеріальних об'єктах, її практичне використання в якості універсального вимірника при забезпеченні процесів обміну зіштовхується з певними методичними ускладненнями. Водночас, при подоланні проблем вимірювання енергетичних витрат та надходжень, енергетичний аналіз може слугувати альтернативою вартісної оцінки активів у матеріальній формі як на поточну дату оцінки, так і в ретроспективі.

### 3.9. Оптимізація енергопостачання технічної енергетичної системи з використанням рангового аналізу

© Денисюк С. П.

*д.т.н., професор, директор ІЕЕ, Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського" м. Київ, Україна*

© Василенко В. І.

*асистент кафедри електропостачання, Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського" м. Київ, Україна*

Основу енергозбереження в енергетичних системах складається планомірна реалізація комплексу технічних та технологічних заходів та оптимізація енергоспоживання їх окремих елементів на системному рівні. Метою оптимізації є упорядкування енергоспоживання об'єктами енергосистеми, економія спрямованих на оплату споживаних енергетичних ресурсів засобів, отриманих, перш за все, за рахунок організаційних заходів, а також створення науково обґрунтованих припущень для проведення цілеспрямованих енергетичних обстежень з подальшою реалізацією технічних та технологічних заходів щодо енергозбереження.

При описанні енергетичних процесів в енергетичній системі будемо використовувати наступні визначення.

Технічна енергетична система (ТЕС) – сукупність обладнання і підприємств, що взаємодіють один з одним для виробництва, споживання або перетворення, зберігання, транспортування або обробки енергопродукту (рис. 3.11).

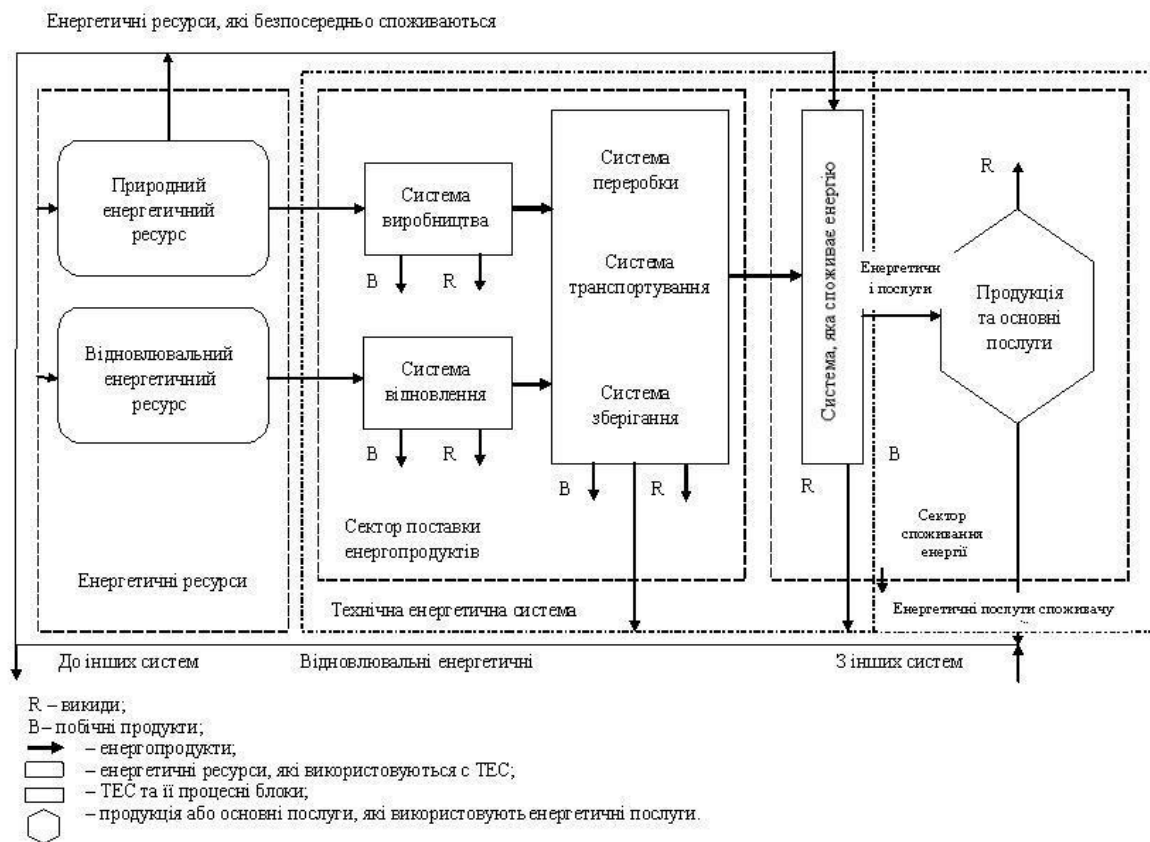


Рис. 3.11. Загальна модель технічної енергетичної системи

Джерело: [6, с. 3]

Енергопродукт – готовий товар, який використовується, головним чином, для виробництва механічної роботи.

Природні ресурси використовуються як входи до ТЕС, тобто сукупність обладнання і підприємств, основними виходами яких є продукти і послуги, але які також виробляють побічні продукти і викиди. Природні ресурси у вигляді інших енергоносіїв, таких як сонячне випромінювання, енергія припливів, геотермальна енергія, вітер і тепло, також використовуються для прямого перетворення в механічну, теплову або електричну енергію.

Продукти, які є виходами технічної енергетичної системи, є входами в інші технічні енергетичні системи або використовуються для надання послуг. В кінці терміну їх експлуатації вони повторно використовуються всередині техносфери або надходять назад у природне середовище як викиди.

Отже, входами в техносферу є природні ресурси, а виходами послуги, що надаються суспільству, викиди та експлуатаційні впливи [5, с. 1 – 2].

Загальна методологія досліджень та впровадження в області енергозбереження, відповідно до введеної в [3, с. 247] класифікації, може бути розділена на три рівні (рис. 3.12).

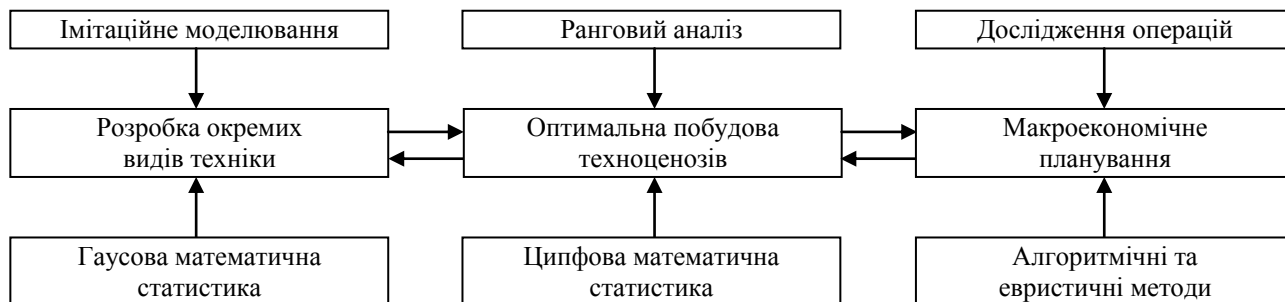


Рис. 3.12. Рівні дослідження в галузі енергозбереження

*Джерело: [2, с. 103]*

1. Діяльність, націлена на конкретні технічні та технологічні розробки, які сприяють зниженню енергоспоживання (вдосконалення систем теплопостачання, заміна застарілих світлотехнічних приладів, впровадження енергозберігаючих частотно-регульованих електроприводів, модернізація внутрішнього устаткування будівель і споруд та ін.).

2. Оптимізація енергоспоживання ТЕС в цілому. Як методологічна основа на цьому рівні широко застосовується ранговий аналіз, що ґрунтується на техноценологічному підході, цифрової математичній статистиці і теорії гіперболічних безмежно подільних розподілів. Саме цей рівень є ключовим при побудові методології управління енергозбереженням ТЕС. З огляду на принципові концептуальні та методологічні відмінності, що лежать в основі досліджень на другому рівні, він розглядається як системний по відношенню до рівня досліджень, що стосуються конкретних технічних і технологічних рішень в галузі енергозбереження.

3. Стратегічне планування та прогнозування в ТЕС (маневрування максимального навантаження, зниження втрат у лініях, ефективний контроль, оптимальне диспетчерування та ін) [2, с. 103].

Реальне управління техноценозом можливо лише в умовах правильного осмислення об'єкта управління, а також впровадження коректних методів оптимального управління даним об'єктом.

Для опису ценозів використовується біологічна термінологія [8, с. 84]:

– особина – неподільний елемент ценозу – це персоніфіковані ТЕС, які здійснюють унікальну діяльність, мають індивідуальне назву, є платником податків, самостійно розподіляють і споживають ресурси;

– вид – група елементів, систематизована за характером діяльності, розміром;

– популяція – група особин одного виду;

– каста – група, в якій кожен вид представлений рівною кількістю особин.

Принципово важливо, що структура ценозу будь-якого з перерахованих найменувань визначається законом різноманітності, визначальним часто зустрічається (сарана, “саранова каста”) і одинично – (Ноїв, “ноїва каста”).

Основні властивості техноценозу [10, с. 39]:

– найменування і кількість всього наявного (обмотувального дроту трансформатору, кріплення, інструменту, приладів та ін.) перерахувати неможливо. Кожен з об'єктів дискретно виділяється як особина, але одночасно його можна охарактеризувати змінним параметром (витрати, електричне споживання) з безперервного ряду натуральних чисел. Дискретність і кінцевість елементів, що утворюють техноценоз, а також безперервність і можливу зміну параметра ценозу в цілому дозволяють формалізовано описати його для оцінки минулого, управління поточним станом і прогнозу розвитку;

– невизначеність кордонів електропостачання. Вони не обмежені тільки генпланом: власні електричні мережі виходять за його межі, які живлять сторонніх споживачів (те ж саме – всередині).

Говорячи про показники, які характеризують ценоз (незалежно від їх вербального або формалізованого подання), слід мати на увазі:

– ценоз не може бути адекватно описаний системою показників, будь-яка система – нечітка і неповна, збільшення кількості показників і підвищення точності (достовірності) кожного не наближає або мало наближає до акту виділення ценозу;

– два ценози, описані однією системою показників, які збігаються в межах точності, прийнятої для даного класу, можуть відрізнитися по суті (характеристиками, параметрами, уявленнями) [10, с. 40].

Техноценоз має яскраво виражені наступні специфічні властивості [2, с. 472, 3, с. 147, 4, с. 99]:

– взаємопов'язаність – окремі об'єкти техноценозу статистично значимо пов'язані в єдину систему, однак тип зв'язків в даному випадку особливий – це так звані “слабкі” зв'язки, що не зводяться до законів Ньютона, Ома, Кирхгофа, Гаука та ін.;

– негаусовість – статистичні вибірки параметрів особин (об'єктів) мають ципфові властивості (залежність середнього і дисперсії від обсягу вибірки істотна), тобто не виконується закон великих чисел, який полягає у тому, що середнє статистичне значення має сходитися по ймовірності до математичного сподівання. Це говорить про те, що, перш ніж приступати до управління інфраструктурним об'єктом, треба з'ясувати, а чи є він техноценозом і, як наслідок, взагалі чи можна до нього застосовувати техноценологічну методологію.

Основним інструментом техноценологічного підходу в дослідженні складних технічних систем є ранговий аналіз – метод дослідження великих технічних систем (інфраструктури), що має на меті їх статистичний аналіз, а також оптимізацію, і в якому використовується в якості основного критерію форма видових і рангових розподілів. Для опису техноценозів використовуються гіперболічні Н-розподіли.

Під ранговим розподілом розуміється спадна послідовність значень параметрів, упорядкована Отже, що кожне наступне число менше попереднього, і поставлена у відповідність рангу (номеру по порядку, ряду натуральних чисел, розташованих в порядку зростання) [3, с. 151].

Структура ценозів описується видовим розподілом – залежність числа видів від кількості особин у вигляді, рангових видовим розподіл і рангових розподілом по параметру [8, с. 95].

Математичний апарат ценологічного методу представлений трьома моделями гіперболічного Н-розподілу [1, с. 73, 10, с. 42]:

1) видовий:

$$\Omega(x) = \frac{W_0}{x^{1+a}}, \quad (3.28)$$

де  $x \in (1; \infty]$  – безперервний аналог чисельності популяцій  $i$  ( $i$  – завжди дискретна величина,  $i = [x]$ );

$a > 0$  – характеристичний показник; постійна розподілу  $\gamma = 1 + a$ ;

$$W_0 = A \cdot S, \quad W_1 = [W_0],$$

де  $W_0$  – теоретичне, не обов'язково дискретне значення, і  $W_1$  – фактичне (експериментальне) значення першої точки;

$A$  – постійна розподілу, яку знаходять з умов нормування.

2) ранговий:

$$\Lambda(x) = \frac{B}{r^\beta}, \quad \omega(r) = \frac{u_r}{U}, \quad U = \sum_{r=1}^S u_r, \quad (3.29)$$

де  $u_r$  – кількість особин виду  $s_r$  (чисельність популяції  $s_r$  виду), яка відповідає рангу  $r$  при загальній кількості особин  $U$ .

Ранг виду  $s = 1, 2, \dots, s_r, \dots, S$  – це його порядковий номер (номер рядка).  $1 > B > 0, \beta > 0$  – константи ранговидового Н-розподілу.

Видовий і ранговидовий розподіли використовують для вивчення та управління структурою встановленого і обладнання, яке ремонтується (електроустановок), тобто для дискретних величин. Але система енергопостачання, характеризується і безперервними величинами (електроспоживання, теплоспоживання, потужність, вартість, витрати). У цьому випадку застосовують гіперболічний ранговий Н-розподіл по параметру [13].

3) ранговий по параметру. Нехай задано безліч об'єктів, які утворюють певну цілісність (всі підрозділи одного підприємства) і які відповідають ценологічним критеріям. Кожен об'єкт характеризується одним або декількома параметрами, які виражені чисельно. Визначивши параметр, можна впорядкувати безліч, розташувавши всі об'єкти по порядку по зменшенню параметра, і отримати гіперболічний ранговий Н-розподіл по параметру. Площа під кривою рангового Н-розподілу по параметру характеризує енергоспоживання підприємства в цілому:

$$W(x) = \frac{W_1}{r^\beta}, \quad (3.30)$$

$$\beta = \log_r \frac{W_1}{W(x)}, \quad (3.31)$$

де  $r$  – ранг об'єкту;

$\beta$  – показник, який визначає ступінь крутизни кривої розподілу;

$W_1 = W_{\max}(x)$  – константа, за яку приймається максимальне значення енергоспоживання найбільш крупного споживача.

Ранговий розподіл по параметру дозволяє говорити про оптимальність, ефективність ценоза в цілому. Далі необхідно дослідити структуру ценозу.

Усунення аномальних відхилень на видовому розподілі засноване на аналізі відхилень від апроксимуючої кривої: вгору – свідчать про недостатню уніфікації видів, а вниз – навпаки, про надмірну. Параметрична оптимізація визначає детальний механізм процесу вдосконалення структури ценоза на основі характеристичних показників.

Енергоспоживання окремої ТЕС при використанні техноценологічного підходу розглядається не ізольовано, а співвідноситься з іншими споживачами, ієрархічно систематизованими. Виявлення тенденції електроспоживання енергосистеми області, аналіз параметрів рангових розподілів створює основу оптимізації управління електроспоживання інфраструктури регіону, дає можливість більш точно прогнозувати подальший розвиток енергетичного комплексу, оцінити його стійкість [9, с. 94].

Дослідження ценозів як цілісності зводять до їх системного опису ієрархічною системою показників (що обов'язково для ідентифікації ценоза) і до структурного ценологічного опису. Розглянемо техноценоз ТЕС на прикладі питомого енергоспоживання особинами техноценозу. Даний ценоз обмежений в просторі – загальна кількість включає в себе багато функціонально відокремлених особин, не пов'язаних один з одним сильними зв'язками. Також існує єдина інфраструктура, що включає в себе систему електропостачання, а також систему контролю експлуатації та забезпечення функціонування.

Енергоспоживання енергосистеми описується аналітичною залежністю:

$$W(x) = \frac{W_1}{r^\beta} = \frac{715,06}{r^{0,32}} \Rightarrow \beta = 0,32.$$

Найкращим вважається такий стан техноценозу, при якому параметр знаходиться в межах  $0,5 \leq \beta \leq 1,5$ . Відповідно до зазначеного виразу можна визначити деякий діапазон оптимальних станів системи і графічно відобразити його у вигляді якоїсь смуги на графіку рангового розподілу (рис. 3.13).

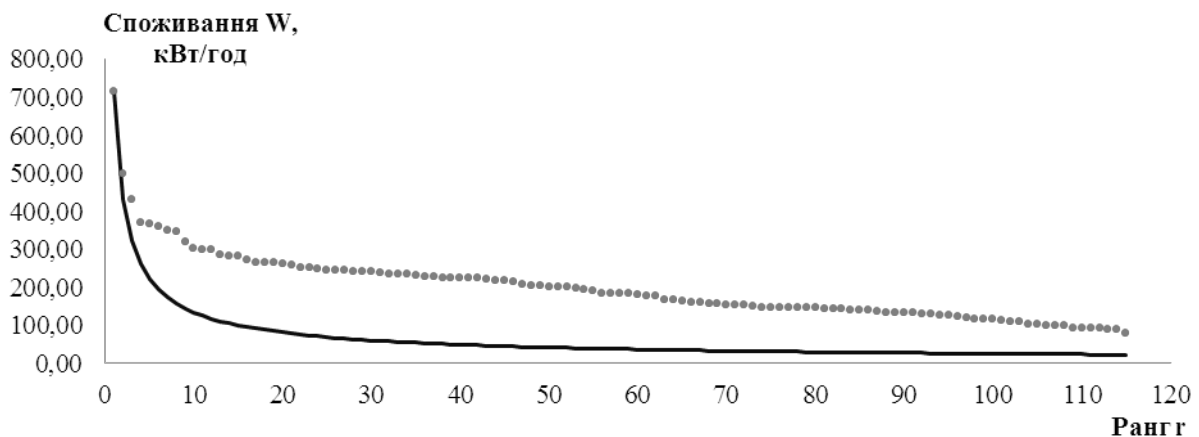


Рис. 3.13. Ранговий параметричний розподіл техноценозу ТЕС:

точки – емпіричні дані, суцільна лінія – апроксимальна крива

*Джерело: авторська розробка*

З рис. 3.13 видно, що питоме споживання енергосистемою досить не оптимальне і потребує значного покращення. Параметр Н-розподілу  $\beta$  не входить в діапазон  $0,5 \leq \beta \leq 1,5$ , крива споживання енергетичних ресурсів значно віддалена від оптимальної апроксимальної кривої, що свідчить про недостатню ефективність роботи системи в цілому. Необхідна додаткова робота з техноценозом: номенклатурна оптимізація; цілеспрямоване видалення аномальних особин; параметрична оптимізація; покращення параметрів аномальних особин тощо.

Ранговий аналіз ніколи не закінчується апроксимацією відповідних розподілів техноценозу. За ним завжди слідує оптимізація, тому що нашим головним завданням є визначення напрямів і критеріїв поліпшення існуючого техноценозу. Процедура оптимізації будь-якого ценозу спрямована на

усунення аномальних відхилень на ранговому розподілі. Після виявлення аномалій на графічному розподілі по табульованому розподілу визначаються особи, “відповідальні” за аномалії, і намічаються першочергові заходи щодо їх усунення.

Алгоритм проведення рангового аналізу для оптимізації техноценозу включає наступні кроки:

Крок 1. Виділення ценозу. Виділення техноценозу супроводжується його описом. Для цього задають спеціальну базу даних, що включає систематизовану і стандартизовану, досить повну і в той же час без зайвих подробиць інформацію по видах і особинах техноценозу.

Крок 2. Завдання видоутворюючих параметрів. Елементи техноценозу виділяються на основі бази даних. Для кожного елемента повинна бути певна документація в базі даних. Якщо розглядати випадок з бюджетними організаціями та установами, то в базі даних повинні знаходитися даними про щомісячне споживання енергоресурсів.

Крок 3. Рангово – параметричний опис ценозу. Перший ранг присвоюється об’єкту з найбільшим споживання енергетичних ресурсів, далі за зменшенням енергоспоживання.

Крок 4. Побудова табульованого рангового розподілу та графічного рангового параметричного розподілу існуючого техноценозу.

Крок 5. Розрахунок ступеня крутизни кривої гіперболічного Н-розподілу. Апроксимація розподілів.

Крок 6. Оптимізація ценозу. Оптимальним називається техноценоз, в якому є такий набір технічних виробів-особин, який, з одного боку, за своїми сукупним функціональними показниками забезпечує виконання поставлених задач, а з іншого, – характеризується максимальною ентропією, тобто сумарні енергетичні ресурси, втілені в технічні вироби при їх виготовленні, розподілені рівномірно по популяціям видів техніки. Оптимальне вдосконалення структури техноценозу пропонується здійснювати в два етапи: на першому етапі визначати і оптимізувати базові види, а на другому – формувати таке видове різноманіття і параметри видів технічних виробів, які відповідають параметрам, які диктуються законом оптимальної побудови техноценозу.

Після проведення даного аналізу можна приступати до прогнозування енергоспоживання на основі техноценологічного підходу. Блок-схема алгоритму проведення рангового аналізу для оптимізації техноценозу представлена на рис. 3.14.

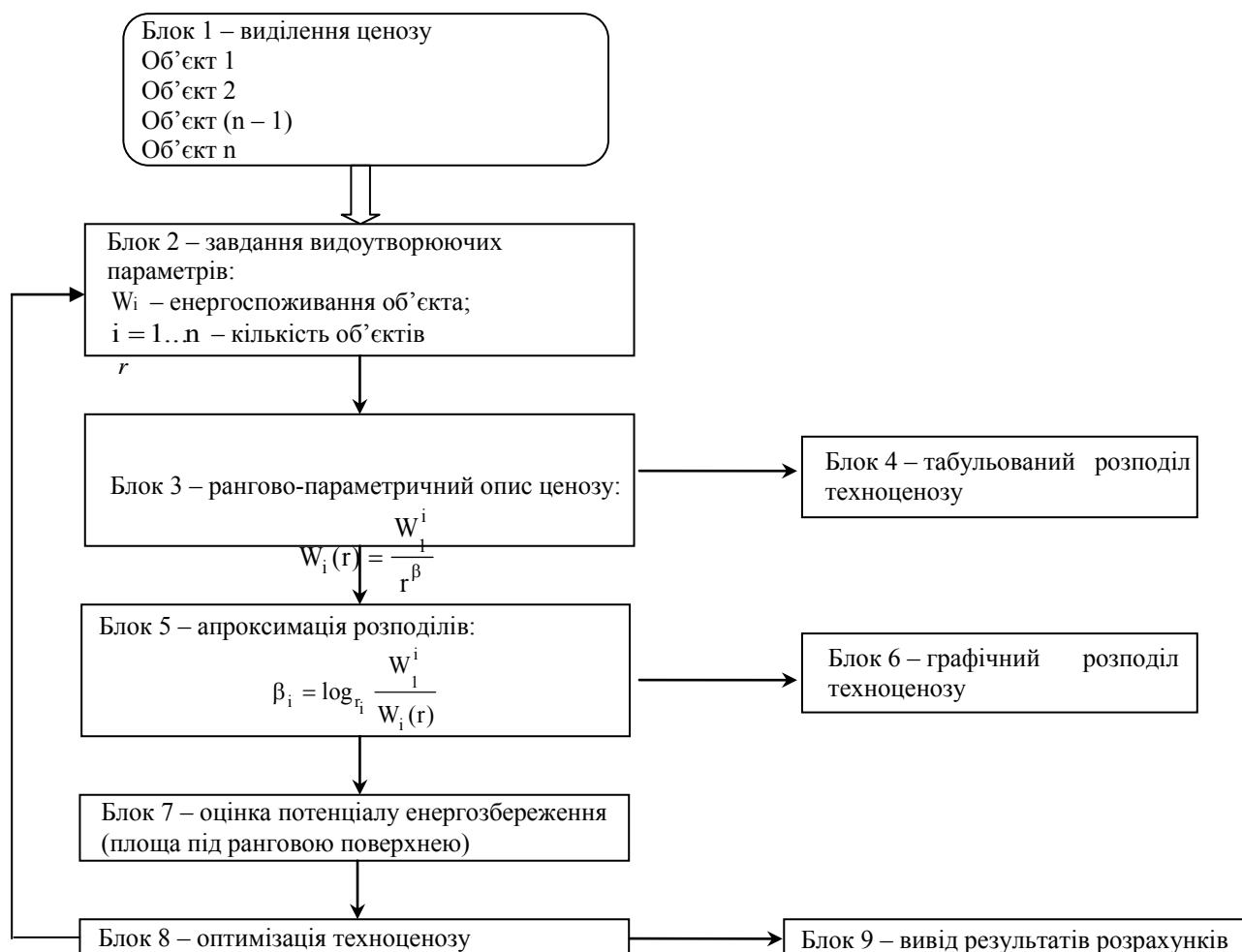


Рис. 3.14. Блок-схема алгоритму проведення рангового аналізу для оптимізації техноценозу

Джерело: авторська розробка

Перевагою техноценологічного методу та проведення рангового аналізу є оптимальне відображення процесу функціонування об'єктів техноценозу в майбутньому з урахуванням можливих змін технології, інфраструктури, а також використання ресурсів. Недоліком слід зазначити, що метод, який заснований на статистичній моделі, як і подібні методи, з високою точністю розраховують значення короткострокового прогнозування (згідно з дослідженнями точний прогноз можна отримати на 1–2 роки, після цього помилка різко зростає). Другим недоліком є неможливість реалізації критеріїв, які засновані на порівнянні варіантів управління енергоспоживання. Ці недоліки можливо усунути. Для цього необхідне створення динамічної адаптивної моделі, що відбиває процес електроспоживання на глибину від 5 до 7 років і більше.

Даний алгоритм можна широко застосовувати для вирішення актуальних задач проектування, будівництва та експлуатації енергетичних систем, а також для підвищення якості та надійності енергопостачання та впровадження енергозберігаючих заходів, а також нових проектів у галузі альтернативної енергетики.

### **3.10. Розширення ралівної бази дизелів шляхом застосування газодизельного циклу**

© Барабаш П. О.

*к.т.н., доцент кафедри теоретичної та промислової теплотехніки, Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського", м. Київ, Україна*

© Петренко В. Г.

*к.т.н., с.н.с. кафедри теоретичної та промислової теплотехніки, Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського", м. Київ, Україна*

© Соломаха А. С.

*к.т.н., н.с. кафедри теоретичної та промислової теплотехніки, Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського", м. Київ, Україна*

© Голик А. В.

*здобувач наукового ступеня доктора філософії, Національний транспортний університет, м. Київ, Україна*

Двигуни внутрішнього згоряння (ДВЗ) і в першу чергу дизелі набули широкого розповсюдження на мобільних та стаціонарних енергоустановках.

Їх сумарна потужність складає близько 80 % від загальної потужності, що виробляється всіма енергоустановками [1, с. 34; 2, с. 17]. Використання ДВЗ у якості джерела енергії для руху транспортних засобів має свої переваги та недоліки.

Переваги – це компактність силового агрегату, висока питома потужність, легкість заправки, порівняно великий запас ходу та ін.

Недоліки – насамперед екологічна небезпека, адже для руху потрібно перетворення енергії, пов'язане зі згорянням палива та забрудненням продуктами згоряння навколишнього середовища. Крім цього дизельний двигун – один із основних споживачів рідкого вуглеводного палива, запаси якого вичерпуються. За сучасних темпів зростання споживання палив нафтового походження, розвіданих запасів нафти вистачить приблизно на 50 років [3].

Для України, яка імпортує 85 % сирової нафти та нафтопродуктів проблеми паливного забезпечення дизельних енергоустановок є особливо гострими.

Розв'язання зазначених проблем вітчизняна і зарубіжна наука та практика вбачає у використанні альтернативних екологічно чистих моторних палив [1, с. 18; 4].

Як свідчить вітчизняний та закордонний досвід, в якості альтернативного моторного палива може успішно використовуватись природний газ. Слід особливо зазначити, що природний газ є екологічно чистим видом палива, а його ресурсів вистачить на 100–150 років. За сумарною екологічною безпекою газове паливо в сто разів ефективніше за дизельне пальне (ДП). Основний екологічний ефект, який отримується при згорянні природного газу в дизельних двигунах, це різке зменшення викидів частинок сажі (димність відпрацьованих газів дизеля), які є основними носіями токсичних та канцерогенних речовин.

Отже, актуальність використання газового палива як моторного палива для дизельних двигунів незаперечна. Заміна ДП на газове паливо здатна в кілька разів знизити собівартість транспортних перевезень і одночасно покращити екологію повітряного басейну населених пунктів і атмосфери в цілому.

Дана робота спрямована на поглиблене дослідження впливу регулювальних і конструктивних параметрів універсальної газодизельної системи живлення, що розроблена в КПІ ім. І. Сікорського та Національному транспортному університеті. В ній реалізовано інжекторний спосіб з фазним регулюванням подачі газового палива до двигуна.

На сьогодні найбільшого поширення набули два способи переобладнання дизелів для роботи на газовому паливі:



1. Переобладнання дизелів у “чисто” газові двигуни з іскровим запалюванням.
2. Переобладнання дизелів для роботи за газодизельним циклом.

Якщо в першому випадку в конструкцію двигуна вносяться істотні зміни (знижується ступінь стиснення, установлюються додаткові системи запалювання, живлення і регулювання подачі газового палива), то в другому випадку дизель дообладнується лише додатковою системою живлення і регулювання подачі газового палива.

Робочий процес у газодизеля проходить так само, як і в дизелів – за змішаним циклом, під час якого частина палива згоряє за сталого об’єму, а частина – за сталого тиску. Але в газодизелях за сталого об’єму згоряє більше палива, ніж у дизелях, тому максимальний тиск згоряння вищий за однакових умов, вищий також індикаторний ККД.

Використання газодизельного циклу ДВЗ дає змогу зменшити витрати дизельного палива на 70 – 80 % внаслідок заміщення його газовим паливом. При цьому завдяки такому самому ступеню стиснення, як у дизеля, забезпечується високий термічний ККД циклу і зберігається така сама потужність, як і у дизеля.

До істотних переваг газодизелів слід також віднести можливість повноцінної роботи як за газодизельним, так і зі звичайним дизельним циклами. Але основним є газодизельний цикл, оскільки експлуатація газодизельного двигуна лише на дизельному паливі нераціональна.

У зв’язку з особливостями займання палива в газодизелях значно розширюються межі можливого збіднення робочої суміші, що характеризується коефіцієнтом надлишку повітря. В газодизелях розрізняють два коефіцієнти надлишку повітря: в газоповітряній суміші в процесі стиснення:

$$\alpha_r = V_{\text{п}}/V_r \cdot L^r_0, \quad (3.32)$$

і в суміші повітря, газу і рідкого палива в процесі згорання:

$$\alpha_{\text{гд}} = V_{\text{п}}/(V_r \cdot L^r_0 + G_t \cdot L^p_0), \quad (3.33)$$

де  $V_{\text{п}}$  – кількість повітря, що фактично надійшло в двигун, м<sup>3</sup>/год.;

$V_r, G_t$  – витрати відповідно газового і рідкого палив, м<sup>3</sup>/год, кг/код.;

$L^r_0, L^p_0$  – кількість повітря, що теоретично необхідне для повного згорання 1 м<sup>3</sup> газового і 1 кг рідкого палив, м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>, м<sup>3</sup>/кг.

Димність відпрацьованих газів при роботі за газодизельним циклом значно (в 3 – 5 рази) зменшується на всіх режимах роботи. Загалом сумарна токсичність газодизелів менша, ніж дизелів і бензинових двигунів. Рівень шуму в кабіні водія газодизеля на 2 – 5 дБ нижчий, ніж під час роботи за дизельним циклом.

Газодизельні системи живлення розробляються і вивчаються з другої половини ХХ ст. За останні роки слід виділити наступні газодизельні системи: BOSCH DG-Flex, Solaris dual-fuel та газодизельна система компанії Valtra [5 – 7].

Дані системи розроблені для використання дизелями із системою Common Rail. Такими система дообладнуються вантажівки, автобуси, трактори, екскаватори-навантажувачі, самоскиди, сміттєвози та ін. Запальна доза ДП в цих системах коливається від 17 до 50 %. При використанні даних газодизельних систем екологічні показники транспортних засобів поліпшуються, а витрати на експлуатацію зменшуються до 39 %.

В КПІ ім. І. Сікорського та Національному транспортному університеті розроблено газодизельну мікропроцесорну систему живлення (МПСЖ), що призначена для переобладнання дизелів середньої потужності в газодизель, для транспортних і стаціонарних енергетичних установок з механічними паливними насосами високого тиску (ПНВТ). Ця система забезпечує роботу дизельних двигунів на суміші дизельного палива та стисненого природного газу (СПГ) за газодизельним циклом, зі збереженням стандартної паливної системи.

Принципова схема газодизельної системи живлення приведена на рис. 3.15. Дана система живлення двигуна забезпечує можливість його роботи, як в дизельному, так і газодизельному режимах. Стиснений природний газ міститься в сталевих балонах 11 з максимальним тиском 20 МПа. Контроль запасу газу здійснюється манометром високого тиску 14. При відкритті витратного вентиля 12, газ із балонів 11 по трубопроводу надходить на вхід двоступеневого редуктора 6. При переході на газодизельний режим роботи двигуна, спрацьовує механізм установки запальної дози 19 (встановлений на ПНВТ 15), що обмежує подачу дизельного палива і вмикається електромагнітний клапан 9 редуктора 6, який відкриває подачу газового палива до електромагнітних газових форсунок 2. Дозована подача газового палива в кожен циліндр двигуна на такті впуску здійснюється за рахунок відкриття електромагнітних газових форсунок (газових інжекторів) на фіксовані проміжки часу відповідно до алгоритму роботи мікропроцесорної системи управління. 3 газових форсунок 2, які встановлені на патрубках впускного колектора 1, газ впорскується під

всмоктуваний двигуном повітряний потік. Далі газоповітряна суміш надходить в циліндри і в кінці такту стиснення в неї впорскується запальна доза дизельного палива (надходить з ПНВТ). Величина запальної дози регулюється механізмом установки запальної дози (МУЗД) палива 19.

Зчитуючи і аналізуючи інформацію з датчиків 7, 24 ... 28 системи, мікропроцесорний блок 3 управляє роботою газових форсунок 2, електроклапана 9 редуктора газу, кроковим двигуном 20 МУЗД і трьома реле 21, відповідно до закладеного алгоритму, реалізуючи всережимне регулювання частоти обертання колінчастого вала двигуна в газодизельному режимі.

Дискретне (циклове) дозування палива має істотну перевагу перед безперервним. При безперервному дозуванні необхідний діапазон зміни витрати палива дуже широкий ( $G_{\text{пmax}}/G_{\text{пmin}} \approx 40$ ).

В цьому випадку при регулюванні витрати палива зміною пропускної спроможності дозуючого отвору (за постійного тиску палива) його переріз необхідно змінювати в 40 разів. При регулюванні витрати шляхом зміни тиску палива (за постійного перерізу дозуючого отвору) тиск необхідно змінювати в 1600 разів. Практична реалізація цих двох способів пов'язана з певними труднощами.

У разі дискретного дозування палива діапазон необхідної зміни циклової подачі різко скорочується і дорівнює приблизно 4. В якості дозуючого елемента зручно застосовувати швидкодіючі клапани з електромагнітним керуванням – форсунки. Вони застосовуються у всіх системах впорскування з електронним управлінням. При постійному перепаді тиску на форсунці циклова витрата палива  $\Delta G_{\text{п}}$  залежить тільки від тривалості відкриття клапана форсунки.

Отже, весь комплекс керування паливоподачею зводиться до формування командного імпульсу певної тривалості.

Формування командного імпульсу є процесом обробки інформації датчиків системи. Сформований командний імпульс тривалістю  $t$  подається на обмотку форсунки.

В результаті попередніх експериментальних і аналітичних досліджень авторів встановлено, що оптимальні характеристики газодизельних двигунів досягаються при розподільному і фазному впорскуванні газу (ФВГ) до циліндрів ДВЗ [8, с. 122]. Регулювання циклової подачі газу здійснюється електромагнітними газовими форсунками (ЕГФ), які встановлюють до впускних клапанів кожного циліндра двигуна.

На рис. 3.16 приведені діаграми роботи елементів системи газоподачі розробленої МПСЖ на такті впуску першого циліндра дизеля Д-245.7 для  $n = 800 \text{ хв.}^{-1}$ .

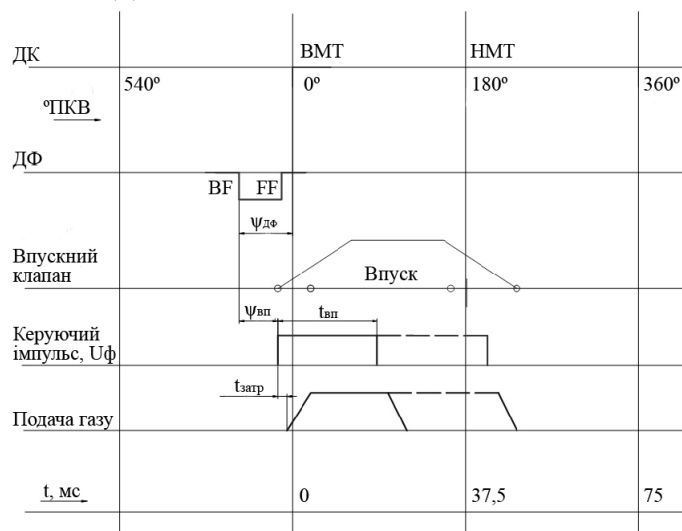


Рис. 3.16. Діаграми роботи елементів системи газоподачі МПСЖ

Показано фазу впуску першого циліндра, що визначається відкритим станом впускного клапана, керуючий електричний імпульс, що подається на обмотку ЕГФ, момент циклової подачі газу, що впорскується ЕГФ.

Для забезпечення фазної подачі газу на валу привода ПНВТ встановлено датчик фази (ДФ) положення якого визначається кутом  $\Psi_{\text{дф}}$  відносно верхньої мертвої точки (ВМТ) першого циліндра ДВЗ. Значення  $\Psi_{\text{дф}}$  вимірюється після установки ДФ на двигуні і вводиться параметром до мікропроцесорного блока керування системою живлення газодизеля. Оскільки фізично можна реалізувати тільки затримку сигналів датчиків, то при встановленні ДФ треба виконати умову:

$$\Psi_{\text{дф}} \geq \Psi_{\text{вп}}$$

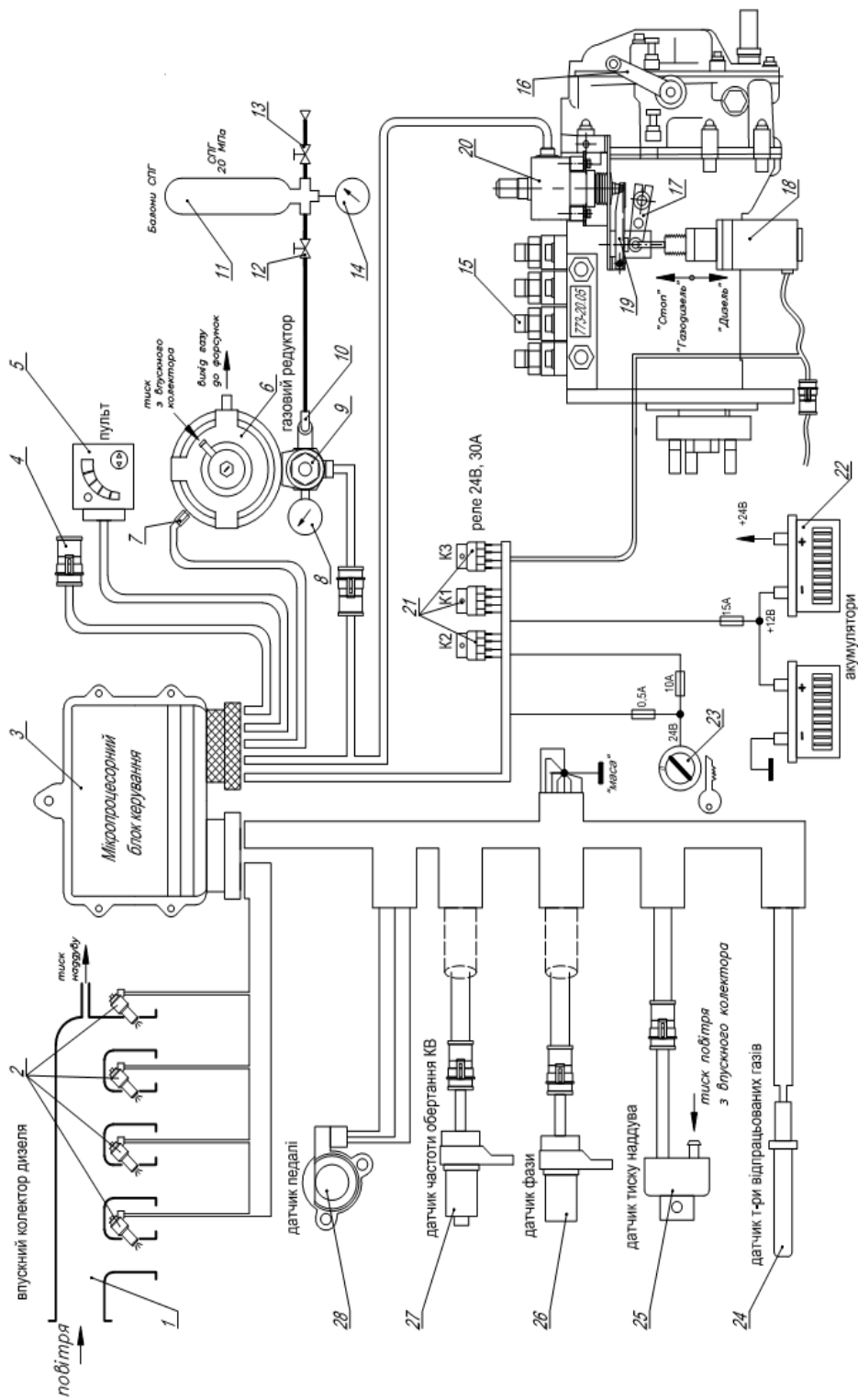


Рис. 3.15. Принципова схема газодизельної мікропроцесорної системи живлення:

1 – впускний колектор двигуна; 2 – форсунки газові електромагнітні; 3 – блок керування мікропроцесорний; 4 – роз'єм діагностичний; 5 – пульти; 6 – редуктор газовий; 7 – балони для СПГ; 8 – манометр корпусу редуктора; 9 – манометр редуктора; 10 – штуцер підведення газу до редуктора; 11 – балони для СПГ; 12 – вентиль витратний; 13 – манометр високого тиску; 14 – ПНВТ; 15 – манометр високого тиску; 16 – важіль управління швидкісним режимом двигуна; 17 – важіль зупинки двигуна; 18 – електромагніт зупинки двигуна; 19 – манометр високого тиску; 20 – кроковий двигун МУЗД; 21 – реле 24В; 22 – вимикач приладів і стартера; 23 – датчик температури відрацьованих газів; 24 – датчик тиску наддуву; 25 – датчик частоти обертання вала двигуна; 26 – датчик частоти обертання колінчастого вала двигуна; 27 – датчик температури подачею палива.

Джерело: узагальнено авторами

Очевидно, що оптимальні процеси ФВГ передбачають зміну поточного значення кута  $\Psi_{вп}$  залежно від частоти обертання КВ двигуна  $n$ . Для цього в систему параметрів МПСЖ введена залежність  $\Psi_{вп} = f(n)$ , де:  $\Psi_{вп}$  – кут відкриття газової форсунки відносно ВМТ.

Принципово ФВГ може проходити впродовж всієї фази впуску, але існують оптимальні значення кута  $\Psi_{вп}$  ( $\Psi_{овп}$ ), за яких робочі процеси газодизеля найбільш ефективні, що підтверджується експериментальними дослідженнями.

Ще однією умовою повноцінної реалізації ФВГ є узгодження суперечливих вимог між обмеженою пропускною здатністю газової форсунки, часом впорскування і величиною циклової подачі газу на різних режимах двигуна. Для цього в систему газоподачі МПСЖ бажано ввести газовий редуктор-регулятор (ГРР), який забезпечує живлення газових інжекторів (форсунок) змінним тиском  $P_f$ , залежно від робочого режиму ДВЗ. ГРР за командним сигналом від МП блока залежно від частоти  $n$  та навантаження встановлює на вході газових форсунок задане значення тиску  $P_f$ . Ця залежність визначається з умови:

$$\Psi_{вп} = \Psi_{овп}.$$

Вважається, що оптимальний шлях проектування і дослідження повинен поєднувати різні методи, а саме: на початковому етапі – аналітичні спрощені методи, які дозволяють визначити початкові варіанти схеми та параметрів; на другому етапі – математичне моделювання з використанням чисельних методів та системи автоматизованого проектування, що дозволить провести динамічне дослідження газодозуючих агрегатів системи живлення та знайти їх оптимальні параметри; а на кінцевому етапі – експериментальна перевірка отриманих при чисельному моделюванні результатів.

Метою експериментальних досліджень є отримання порівняльних характеристик дизеля у складі вантажного автомобіля з розробленою МПСЖ при роботі двигуна за дизельним і газодизельним циклами.

Для досягнення цієї мети вирішувалась задача: визначення енергетичних та екологічних показників автомобіля ГАЗ-3309, обладнаного дизелем Д-245.7, його паливної економічності при роботі в різних навантажувальних режимах та режимі активного холостого ходу при роботі двигуна за дизельним та газодизельним циклами.

Випробування експериментального вантажного автомобіля ГАЗ-3309 з розробленою газодизельною мікропроцесорною системою живлення проводились на тяговому роликовому динамометричному стенді моделі 4819 ВМ в лабораторії дослідження використання палив та екології ДП “ДержавтотрансНДІпроект”.

Залежності паливної економічності (витрати дизельного палива та СПГ) та концентрацій шкідливих речовин у відпрацьованих газах ( $CO$ ,  $C_mH_n$ ,  $NO_x$ ) визначались при ustalених частотах обертання двигуна від тягового зусилля на ведучих колесах автомобіля.

Проведенні дослідження відповідали вимогам ГОСТ 20306 – 90 “Автотранспортные средства. Топливная экономичность. Методы испытаний”.

Для оцінки енергетичних, екологічних показників та паливної економічності вантажного автомобіля ГАЗ-3309, обладнаного дизельним двигуном Д-245.7, що працював за дизельним і газодизельним циклом, під час стендових досліджень, було визначено серію навантажувальних характеристик для таких частот обертання колінчастого вала двигуна  $n_d = 1300 \text{ хв}^{-1}$ ,  $n_d = 1600 \text{ хв}^{-1}$ ,  $n_d = 1900 \text{ хв}^{-1}$ .

Для прикладу на рис. 3.17, 3.18 показані навантажувальні характеристики при частоті обертання КВ двигуна при  $n_d = 1300 \text{ хв}^{-1}$ .

На характеристиках показані отримані в залежності від тягового зусилля, що прикладається до колеса, такі показники: витрати дизельного палива, повітря і СПГ за годину ( $G_{пал}$ ,  $G_{пов}$  і  $G_{газ}$ ), концентрації у ВГ оксиду вуглецю  $CO$ , вуглеводнів  $C_mH_n$ , оксидів азоту  $NO_x$  та димності відпрацьованих газів.

Аналіз отриманих залежностей показує, що потужність двигуна при роботі за дизельним та газодизельним циклами майже однакова, що досягається регулюванням часу відкриття газових форсунок при роботі двигуна за газодизельним циклом.

Годинна витрата повітря на всіх навантажувальних режимах при роботі за газодизельним циклом практично менша ніж витрата повітря при роботі за дизельним циклом. Годинна витрата дизельного палива при роботі за газодизельним циклом при частотах обертання колінчастого вала двигуна  $n_d = 1300 \text{ хв}^{-1}$  на 75,37 % менша за витрату палива при роботі двигуна за дизельним циклом. Ця тенденція зберігається і на інших режимах і складає 78,07 % при  $n_d = 1600 \text{ хв}^{-1}$  і 75,76 % при  $n_d = 1900 \text{ хв}^{-1}$ .

Димність відпрацьованих газів при роботі за газодизельним і дизельним циклом в режимі  $n_d = 1300 \text{ хв}^{-1}$  при  $P_k = 3,2 \text{ кН}$  (100 % навантаження на даному режимі) становить 70 % у порівнянні з 5 % при роботі за газодизельним циклом. При повному навантаженні в режимі  $n_d = 1600 \text{ хв}^{-1}$  максимальне значення димності становить 72 % у порівнянні з 8 % при роботі за газодизельним циклом, в режимі  $n_d = 2200 \text{ хв}^{-1}$  максимальне значення димності при роботі за дизельним циклом досягає 73 % у порівнянні з 8 % при роботі за газодизельним циклом.

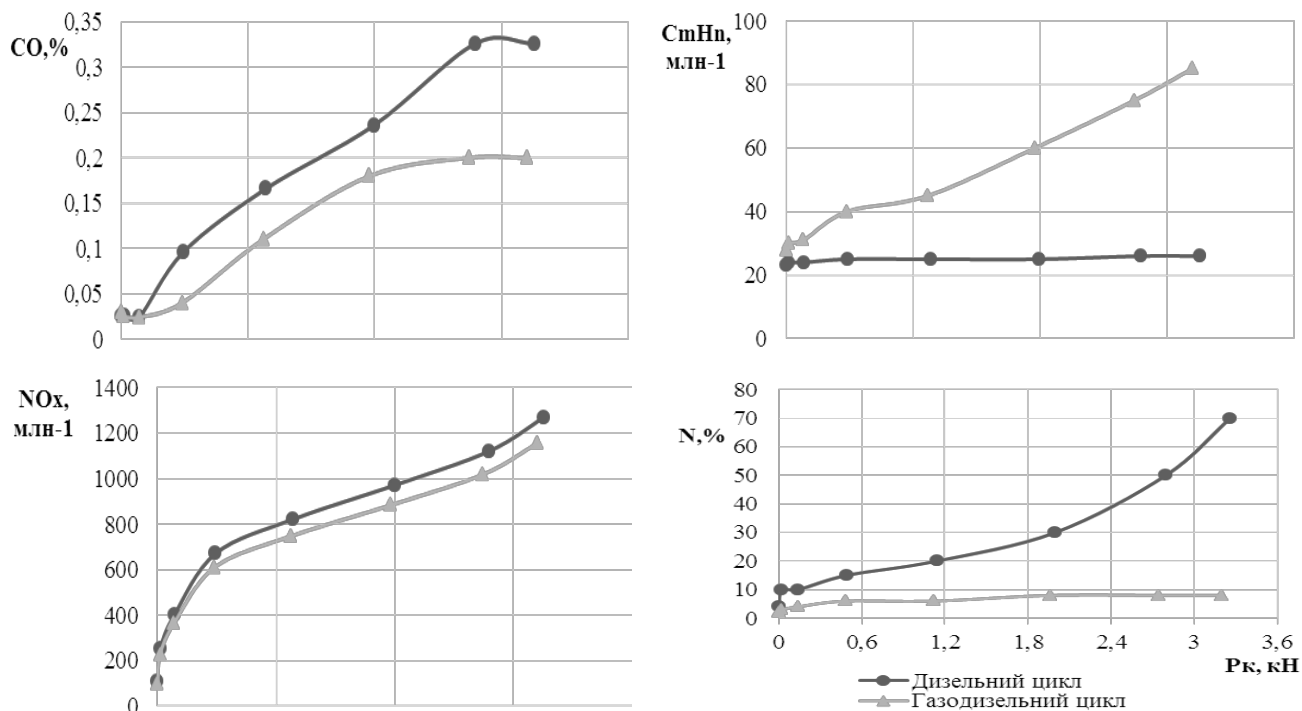


Рис. 3.17. Порівняльні навантажувальні характеристики екологічних показників при  $n_d = 1300 \text{ хв}^{-1}$

Джерело: розрахунки авторів

Концентрації оксидів азоту у ВГ пропорційно збільшуються при зростанні тягового зусилля на колесі як за дизельним так і газодизельним циклом і мають майже однакові значення. Ця залежність спостерігається на всіх навантажувальних режимах.

Викиди вуглеводнів  $C_mH_n$  вимірювались за методом інфрачервоної спектроскопії. При роботі за газодизельним циклом дещо зростають викиди вуглеводнів  $C_mH_n$ , які досягають 82 млн<sup>-1</sup> в режимі  $n_d = 1300 \text{ хв}^{-1}$ , 100 млн<sup>-1</sup> в режимі  $n_d = 1600 \text{ хв}^{-1}$  і 260 млн<sup>-1</sup> в режимі  $n_d = 1900 \text{ хв}^{-1}$ .

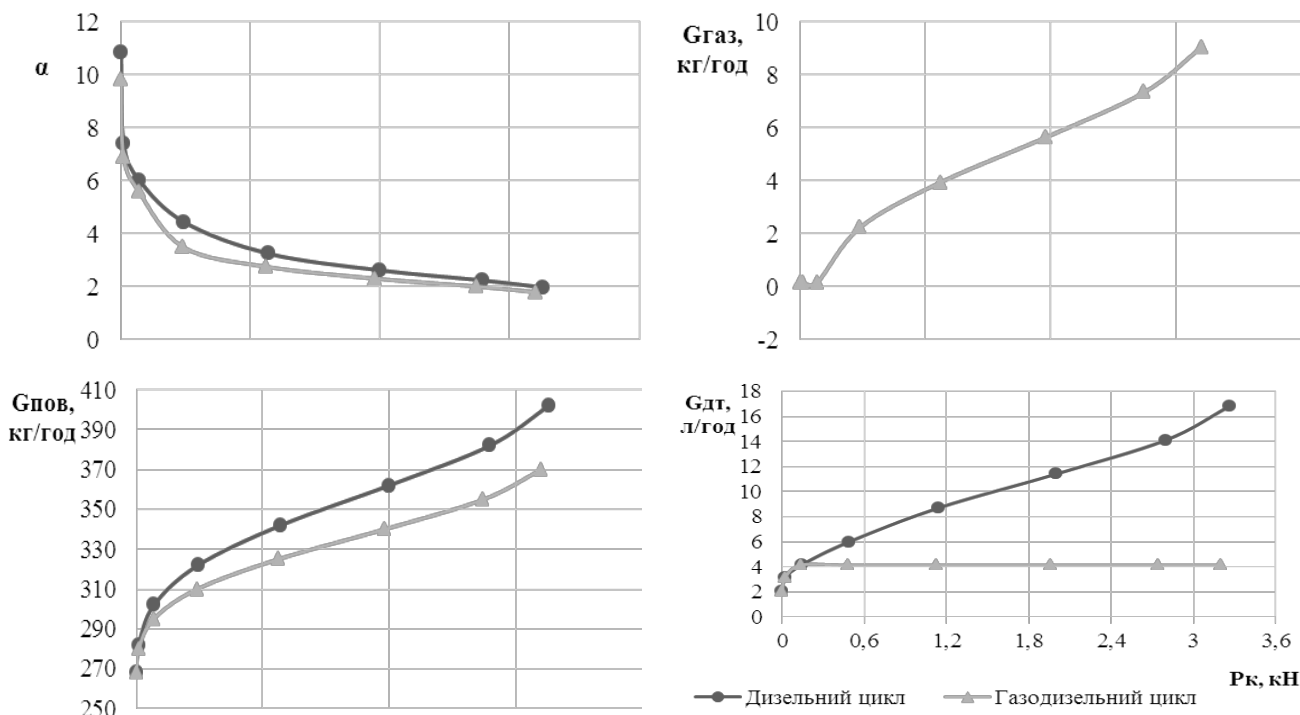


Рис. 3.18. Порівняльні навантажувальні характеристики паливно-економічних показників при  $n_d = 1300 \text{ хв}^{-1}$

Джерело: розрахунки авторів

За отриманими результатами можна зробити наступні висновки:

1. Зберігається світова тенденція розширення попиту на альтернативні екологічно чисті палива для ДВЗ на фоні збільшення дефіциту рідких палив нафтового походження. Постійно зростають вимоги до екологічної безпеки ДВЗ і особливо дизелів.

2. Перспективним шляхом підвищення ефективності використання природного газу як моторного палива для ДВЗ, є застосування газодизельного робочого процесу.

3. Розроблена МПСЖ забезпечує роботу дизельних двигунів на суміші дизельного палива та СПГ за газодизельним циклом, зі збереженням стандартної паливної системи.

4. В розробленій системі реалізовано розподільне фазне впорскування газу по циліндрам, що покращує сумішоутворення та сприяє більш повному згорянню збідненої суміші та зменшенню викидів основних токсичних компонентів (NO<sub>x</sub>, CO, CH) у відпрацьованих газах двигуна.

5. Результати стендових випробувань двигуна Д245.7 з дослідною МПСЖ і досліджень автомобіля ГАЗ-3309 з цим двигуном при роботі за дизельним та газодизельним циклами показали, що за газодизельного режиму системи заміщення дизельного палива газом з повним навантаженням становить 72 % ... 78 %. При цьому порівняно з дизельним режимом енергетичні показники двигуна не знижуються.

6. За газодизельного режиму живлення двигуна вантажного автомобіля ГАЗ-3309 не погіршуються його динамічні властивості порівняно з роботою штатної системи живлення на дизельному паливі і навіть є можливість збільшити на 5 ... 10 % ефективний крутний момент при роботі за газодизельним циклом за рахунок збільшення циклової подачі газового палива без погіршення екологічних показників.

7. Проведені дослідження показали покращення екологічних показників двигуна, так при роботі за газодизельним циклом значно знижується димність ВГ в 3 – 5 разів, а концентрації оксидів азоту знаходяться на рівні дизеля.

### **3.11. Перспективи розвитку об'єднання співвласників багатоквартирного будинку для забезпечення енергоефективного використання енергоресурсів домогосподарствами**

© Костяна О. В.

*к. е. н., доцент кафедри оподаткування, Харківський  
національний університет ім. Семе́на Кузне́ця, м. Харків, Україна*

Історично на території України, починаючи з часів СРСР, експлуатація багатоквартирних будинків здійснювалася ЖЕО (житлово-експлуатаційними організаціями), що, відповідно до вимог законодавства, повинні були забезпечувати схоронність житлового фонду і належне його використання, високий рівень обслуговування громадян, а також контролювати дотримання громадянами правил користування жилими приміщеннями, утримання жилого будинку і придомової території [1]. Однак практика функціонування ЖЕО в Україні, продемонструвала, що вони не є ефективними керуючим багатоквартирних будинків, що зумовлено такими факторами:

– низька якість та здебільшого несвочасність надання більшості послуг, що надаються ЖЕО, складність в комунікації між ЖЕО та власниками квартир багатоквартирного будинку;

– відсутність зацікавленості ЖЕО у здійсненні заходів з підвищення ефективного використання енергоресурсів в багатоквартирних будинках, що відбувається оскільки ЖЕО є сторонньою організацією, яка тільки формально забезпечує інтереси власників багатоквартирних будинків;

– низька вмотивованість ЖЕО щодо підвищення ефективності роботи – зниження витрат на експлуатацію будинків та підвищення якості надання експлуатаційних послуг;

– непрозорість формування тарифів на послуги ЖЕО, відсутність надання їх економічного обґрунтування;

– велика частка персоналу ЖЕО – адміністративний апарат, витрат на отримання якого формуються за рахунок комунальних платежів.

Житловий фонд України станом на 2016 р. становив 973,8 млн. м<sup>2</sup>. З них 65 % складають будинки, побудовані в період 1946 – 1980 рр., 11 % – побудовані в 1981 – 1990 рр., і 6 % будівлі, споруджені після 1991 р. Кожен третій житловий будинок потребує капітального ремонту. В аварійному стані перебуває більше третини водопровідно-каналізаційних та теплових мереж, близько 30 % теплових пунктів [5]. Зношеність основних фондів підприємств житлово-комунальної сфери сягає 70 %, що доволі часто призводить до аварійних ситуацій, втрачається до 12 % теплової енергії, енергоємність домогосподарств в Україні у 2,5 – 3 рази перевищує показники європейських держав. На сьогоднішній день кожен третій житловий будинок потребує капітального ремонту, понад третини водопровідно-каналізаційних та теплових мереж перебувають в аварійному стані [15].

Значний вік більшості житлових будинків, а також відсутність, в частині випадків, здійснення своєчасних та адекватних ремонтних робіт, реконструкцій призвели до незадовільного технічного стану житлового фонду, надзвичайно високих обсягів споживання енергоресурсів. Тому в Україні однією з найактуальніших проблем є реформування житлово – комунального господарства, що сприятиме покращенню технічного стану житлового фонду та підвищенню ефективності використання енергоносіїв мешканцями багатоквартирних будинків.

Як свідчить досвід більшості розвинених країн однією з найбільш ефективних форм управління та експлуатації багатоквартирних будинків є ОСББ. Процес створення об'єднань співвласників багатоквартирних будинків (ОСББ), як альтернативи ЖЕО в нашій державі розпочався у 1995 р., однак на той момент не всі правові засади створення таких організацій були законодавчо врегульовані. Наприкінці 2001 р. було прийнято Закон “Про об'єднання співвласників багатоквартирного будинку”, яким було прописано процес створення та регламентовано діяльність ОСББ.

Об'єднання співвласників багатоквартирного будинку – це юридична особа, створена власниками квартир та/або нежитлових приміщень багатоквартирного будинку для сприяння використанню їхнього власного майна та управління, утримання і використання спільного майна [2].

Відповідно до ст 9 Закону “Про особливості здійснення права власності у багатоквартирному будинку” [3], управління багатоквартирним будинком здійснюється його співвласниками. За рішенням співвласників усі або частина функцій з управління багатоквартирним будинком можуть передаватися управителю або всі функції – об'єднанню співвласників багатоквартирного будинку (асоціації об'єднань співвласників багатоквартирного будинку).

Законом [3] визначено, що в разі якщо до липня 2017 р. співвласники багатоквартирного будинку, в якому ще не створено об'єднання співвласників, не прийняли рішення про форму управління багатоквартирним будинком, управління таким будинком здійснюється управителем, який призначається на конкурсних засадах виконавчим органом місцевої ради, на території якої розташований такий багатоквартирний будинок. Кількість зареєстрованих в Україні ОСББ щороку збільшується (рис. 3.19), а у 2016 р. зростання кількості ОСББ було рекордним з 16109 одиниць на 1 грудня 2015 р. до 25754 на 1 грудня 2016 р., що пояснюється запланованою ліквідацією ЖЕОів.



Рис. 3.19. Кількість зареєстрованих в Україні ОСББ, 2002 – 2017 рр.

Джерело: [19]

Процес створення ОСББ включає в себе декілька етапів:

1. Створення ініціативної групи. Мінімальна чисельність групи 3 особи. До складу групи мають право ввійти лише власники квартир або нежилых приміщень. Основною мета групи – скликання установчих зборів, а також підготовча роз'яснювальна робота, підготовка проектів документів для розгляду на установчих зборах, запит у Держреєстр прав тощо. Для цього ініціативна група повинна призначити дату, час і місце проведення установчих зборів.

2. Формування реєстру співвласників. Без наявності даних про всіх співвласників ініціативна група не матиме змоги в законний спосіб організувати проведення установчих зборів.

3. Скликання установчих зборів. Ініціативна група зобов'язана проінформувати кожного співвласника про це не менш ніж за 14 днів до визначеної дати. Повідомлення має бути оформлено в письмовій формі.

4. Підготовка проекту Статуту ОСББ. Статут є установчим документом ОСББ. Статут об'єднання складається відповідно до типового статуту, який затверджується центральним органом виконавчої влади, що забезпечує формування державної житлової політики й політики у сфері житлово-комунального господарства. Статут ухвалюється на установчих зборах після ухвалення рішення про створення ОСББ. Цей документ у двох примірниках підписує голова установчих зборів або будь-яка інша вповноважена зборами особа, підпис завіряється нотаріально.

5. Проведення установчих зборів. Засідання зборів веде голова, який обирається більшістю голосів присутніх співвласників або їх представників.

6. Проведення письмового опитування. Далі здійснюється письмове опитування власників щодо доцільності створення ОСББ, яке проводиться шляхом власноручного заповнення ними листків опитування, у яких зазначаються: день опитування, П.І.Б. співвласника, документ, що підтверджує право власності на квартиру чи нежитлове приміщення, номер квартири чи нежитлового приміщення, загальна площа квартири чи нежитлового приміщення, документ, що надає повноваження на голосування від імені співвласника (для представників), відповідь співвласника на питання “так”, “ні” або “утримався”, особистий підпис співвласника й особи, яка проводила опитування. Усі результати опитування фіксуються в протоколі зборів.

7. Державна реєстрація ОСББ. Моментом, із якого ОСББ вважається створеним, є не прийняття рішення установчими зборами про створення ОСББ, а державна реєстрація об'єднання. Тому державна реєстрація юридичної особи є останнім етапом у процедурі створення ОСББ. Процедура державної реєстрації ОСББ є аналогічною державній реєстрації юридичних осіб.

Стаття 5 Закону [2] встановлює, що ОСББ створюється, насамперед, для забезпечення реалізації прав власників приміщень на володіння та користування спільним майном членів об'єднання, належне утримання будинку та прибудинкової території.

Отже, основною метою створення ОСББ – є легітимне прийняття спільних рішень власниками щодо спільного майна. Серед основних завдань ОСББ можна виділити: покращення утримання житлових будинків та прибудинкової території, сприяння членам об'єднання в отриманні якісних комунальних послуг, раціональне використання платежів мешканців, підвищення ефективності використання енергоресурсів багатоквартирними будинками, управління спільною власністю.

Слід зазначити, що оскільки ОСББ є юридичною особою, то постає питання оподаткування податком на прибуток. Відповідно до чинних вимог вітчизняного законодавства, якщо ОСББ зареєстроване як неприбуткова організація і внесена до відповідного реєстру, то така особа не є платником податку на прибуток. Умови, за яких ОСББ може бути неплатником податку на прибуток [18]:

- утворена та зареєстрована в порядку, визначеному законом, що регулює діяльність відповідної неприбуткової організації;

- установчі документи якої містять заборону розподілу отриманих доходів (прибутків) або їх частини серед засновників (учасників), членів такої організації, працівників (крім оплати їхньої праці, нарахування єдиного соціального внеску), членів органів управління та інших пов'язаних з ними осіб;

- внесена контролюючим органом до Реєстру неприбуткових установ та організацій.

При створенні ОСББ власники квартир в багатоквартирному будинку отримують значні переваги (рис. 3.20) порівняно з ЖЕО, що полягають в широких можливостях щодо контролю та управління своєю спільною власністю.

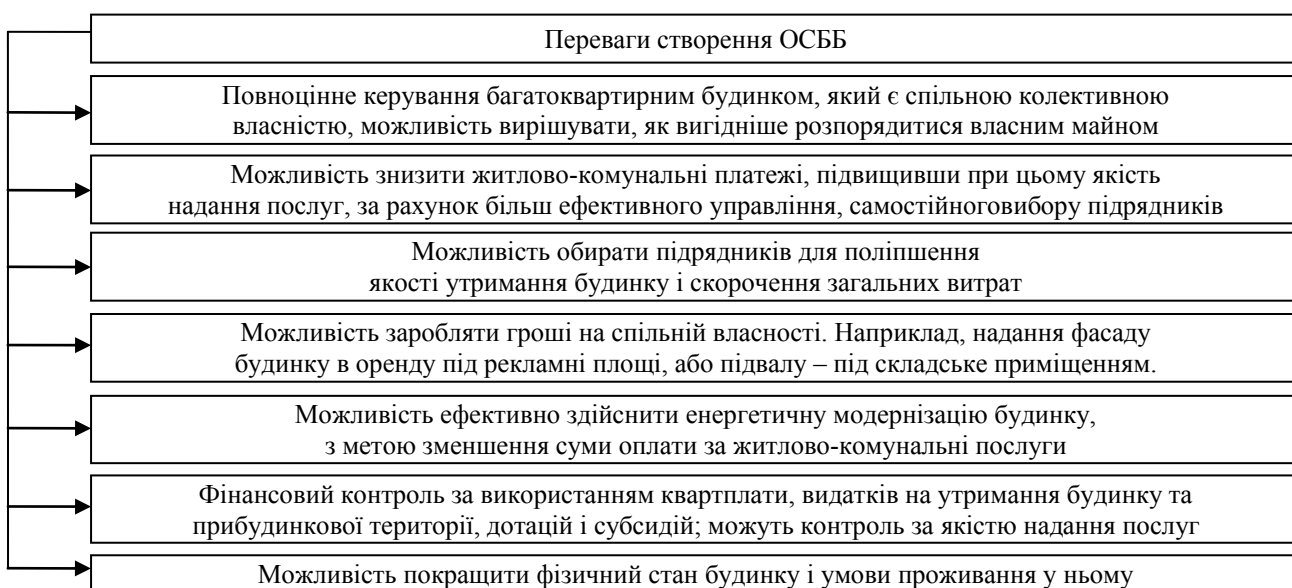


Рис. 3.20. Основні переваги утворення ОСББ для власників багатоквартирних будинків

*Джерело: узагальнено автором*

Наразі при створенні ОСББ на практиці виникають певні проблеми, наявність яких дещо сповільнює процес переходу до даної форми управління багатоквартирними будинками:



- брак відповідальних, ініціативних людей, які можуть взяти на себе оформлення документів, подання звітності, ведення обліку, які будуть ініціювати та контролювати збір коштів на утримання будинку та прибудинкової території, доцільність періодичності ремонтних робіт чи заміни дверей, труб тощо;
- відсутності в більшості будинків приміщення для ведення діяльності ОСББ, зберігання документів, видачі довідок тощо;
- застарілий, проблемний житловий фонд, що потребує капітального ремонту та наявністю проблем в його обслуговуванні;
- труднощі в доступі ініціативних груп до інформації про склад співвласників багатоквартирного будинку – власників квартир;
- недостатня інформованість та консервативна налаштованість частини власників квартир в багатоквартирних будинках щодо питань функціонування та створення ОСББ, та переваг що мають ОСББ;
- відсутня стимулююча складова з боку влади в заохоченні мешканців будинків комунальної власності до переходу на іншу форму утримання помешкань;
- неправомірні вимоги державних реєстраторів нотаріально посвідчувати підписи усіх членів ОСББ на статуті об'єднання в ряді випадків;
- досить витратне оформлення документів на створення ОСББ, як в часовому, так і в фінансовому відношенні;
- неефективні витрати на створення та діяльність ОСББ у невеликих багатоквартирних будинках;
- необов'язковість членства в ОСББ (як наслідок – випадки неправомірної відмови співвласникам в прийнятті в ОСББ або, навпаки, зловживання співвласниками своїм правом не бути членом ОСББ);
- наявність протиріч між положеннями типового статуту ОСББ, невизначеність меж допустимих змін до статуту ОСББ порівняно з текстом типового статуту.

Одним з найважливішим наразі напрямом діяльності ОСББ є підвищення ефективності використання енергоресурсів в багатоквартирних будинках. Це зумовлене багатьма факторами, основний серед яких – значне підвищення вартості енергоносіїв для населення протягом останніх років. Протягом останніх 10 років спостерігалось не тільки значне багатоетапне підвищення тарифів на газ (рис. 3.21) та електроенергію (рис. 3.22) для населення, але й змінився підхід до формування вартості енергоносіїв, що споживають домогосподарства.

Так, починаючи з 2007 р. впроваджено диференційований прогресивний тариф на газ, що споживає населення, а з 2011 р. диференційовані тарифи встановлено також на електроенергію.

Такий підхід у формуванні цін спрямовано на стимулювання ощадливого використання енергоносіїв громадянам. Відносно газу диференційований тариф було скасовано у березні 2015 р. та істотно (майже в 6 разів) підвищено його вартість для населення (рис. 3.21).

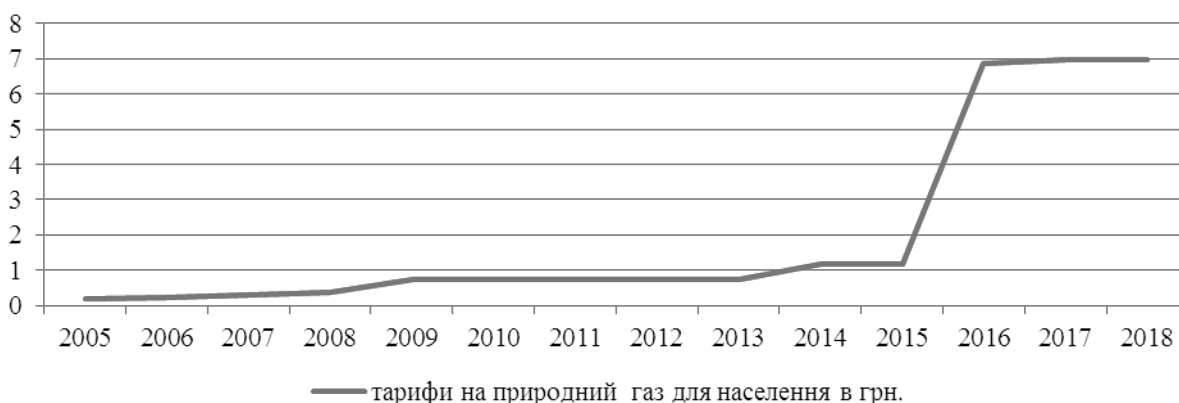


Рис. 3.21. Тарифи на природний газ для населення в Україні, 2005 – 2018 рр. (для споживачів з найнижчого класу споживання)

Джерело: [4; 13]

Наразі в Україні 60 % котелень відпрацювали свій термін, а 20 % тепломереж повністю зношені. Зрозуміло, що в такій ситуації втрати в системі тепlopостачання є надзвичайно високими, а оскільки значна частина домогосподарств (особливо це стосується багатоквартирних будинків) не використовує приладів обліку і сплачують вартість комунальних послуг за тарифами сформованими місцевими енергокомпаніями, тому часто такі втрати тепла компенсуються за рахунок споживачів.

Згідно з інформацією НКРЕКП, на кінець 2015 р. оснащення підприємств комунальної теплоенергетики лічильниками відпуску теплової енергії складало 98 %.

Отже, наразі забезпечено облік тепла, що виходить від підприємств теплової генерації. Та при цьому облік тепла, яке потрапляє до квартир для використання домогосподарствами, забезпечений приблизно на 50 %.

Слід зазначити, що відносно електроенергії порогові значення тарифу змінювалися (рис. 3.22). З 2007 р. до 2015 р. клас споживання, що мав право застосовувати найнижчий тариф, становив до 150 кВт·год., а починаючи з квітня 2015 р. 100 кВт·год., середній клас споживання було змінено з діапазону від 150 кВт·год. до 800 кВт·год. до 2015 р., а в період з квітня 2015 р. по березень 2017 р. – від 100 кВт·год. до 600 кВт·год. З березня 2017 р. середній клас споживання електроенергії скасовано.



Рис. 3.22. Тарифи на електроенергію для населення в Україні, 2006 – 2018 рр.  
(для споживачів з найнижчого класу споживання)

<sup>1)</sup> протягом 2015 р. підвищення тарифів відбувалося двічі – з 1 квітня та з 1 вересня;

<sup>2)</sup> протягом 2016 р. підвищення тарифів відбувалося двічі – з 1 березня та з 1 вересня

*Джерело: [4; 14]*

Відповідно до постанови Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг [15], в період з квітня 2015 р. до березня 2016 р. було впроваджено п'ятиетапне підвищення тарифів для населення.

Отже, протягом останнього періоду через зростання тарифів економічна вмотивованість громадян в зниженні споживання електроенергії істотно зростає.

Отже, протягом 2014 – 2017 рр. вартість електроенергії та газу для населення збільшилася в декілька разів, внаслідок чого частка витрат на оплату енергоносіїв в загальних витратах домогосподарств також істотно зростає. При цьому в даний період внаслідок негативних тенденцій економічного розвитку не відбулося значного зростання доходів переважної більшості громадян.

Відповідно до Національного плану дій з енергоефективності на період до 2020 р. [12], заходи з підвищення енергоефективності, що застосовуються в житловому секторі, повинні бути спрямовані на:

- збільшення енергоефективності будівель і заміну вже встановленого обладнання на більш енергоефективне (теплоізоляція зовнішніх стін і дахів із використанням відповідних ізоляційних матеріалів, заміна вікон, модернізація систем освітлення тощо);

- підвищення обізнаності власників та орендарів про можливості та економічну ефективність енергозбереження за допомогою енергозберігаючих матеріалів і систем та формування енергоефективної поведінки.

Для житлового сектору заходи з підвищення енергоефективності включають запровадження 100 % комерційного обліку використання енергії, підвищення будівельних норм (зокрема, забезпечення щорічного збільшення кількості новозбудованих будівель з близьким до нульового споживанням енергії), впровадження схем аудиту та сертифікації, впровадження маркування та зазначення інформації про обсяг споживання енергії енергоспоживчих приладів, введення мінімальних стандартів енергоефективності, фінансову підтримку домогосподарств для здійснення заходів із підвищення рівня енергоефективності житлових будинків, проведення інформаційних кампаній для забезпечення економії енергоресурсів із низькою собівартістю через зміну поведінки споживачів енергії та більш масштабних заходів.

Однак на практиці, незважаючи на задекларований курс на підвищення енергоефективності домогосподарств та пропаганду цього курсу серед населення, для зниження витрат домогосподарств на енергоносії для населення наразі існує ще один спосіб – застосування механізму житлових субсидій.

Родини, дохід яких низький і не дозволяє сплачувати за комунальні послуги по новим тарифам, можуть отримати безповоротну допомогу від держави у вигляді субсидії на сплату послуг ЖХХ. На субсидію мають право родини, якщо їхні комунальні витрати перевищують в середньому 15 % щомісячного сукупного доходу. Застосовується єдине обмеження щодо призначення субсидій – здійснення одноразової покупки на суму понад 50 тис. грн. У 2016 р. на субсидії було виділено

40 млрд грн. Ці кошти були сформовані за рахунок надходжень до Державного бюджету від рентних платежів газовидобувних компаній. Максимально за комунальні послуги родина сплачуватиме 25 % своїх доходів [6].

Слід зазначити, що застосування механізму субсидій для сплати ЖК-послуг в перехідний період є розповсюдженим явищем у світовому досвіді. Так, після об'єднання Східної і Західної Німеччини на початку 90-х ціни на комунальні послуги у Східній Німеччині були різко підняті (в 5 разів з 1991 р. по 1992 р.), а для тих, хто не міг платити, призначалася допомога. При цьому в середньому домогосподарства витрачали на житло 28 % доходу. Для бідніших сімей цей поріг був нижчий – на рівні 20 % [17].

У Чехії, Румунії, Вірменії, Азербайджані, Грузії, Молдові та Узбекистані соціальні субсидії надавалися для домогосподарств, якщо їхні витрати на комунальні послуги перевищували 25 %. У Хорватії, Македонії, Грузії та Словаччині 10 % найбідніших громадян тільки за електроенергію сплачували 10 % усіх своїх доходів [16]. У Киргизстані субсидія призначалася, якщо видатки на комунальні послуги, не включаючи електрику, перевищували 23 % доходу домогосподарства.

В Україні з 1998 по 2010 рр. діяла норма, за якою більшості домогосподарств призначалася субсидія, якщо видатки на комунальні послуги перевищували 20 % доходу [9], проте в липні 2010 р. цей поріг було знижено до 15 %. Нинішня система в Україні дозволяє більшості населення України платити за комунальні послуги від 9 % до 16 % свого місячного доходу [6], а для 9 % найбідніших – менше 7 %. Причому ці цифри обраховані тільки для опалювального сезону, а в перерахунку на річний дохід (з огляду на те, що опалювальний сезон в Україні триває 6 місяців) – обсяг обов'язкових платежів за ЖКП складає 5 – 8 % для більшості громадян і близько 2 % для найбідніших [16].

Статистика споживання газу за жовтень 2015 р. – квітень 2017 р. свідчить про те, що родини, які отримують субсидії споживають більше газу (4,8 млрд м<sup>3</sup>), ніж домогосподарства, які не отримують їх (3,7 млрд м<sup>3</sup>) [7]. За інформацією Нафтогазу при наявності субсидій мешканці індивідуальних будинків використовували на 73 % більше газу, ніж в до того, коли субсидії не було призначено, а багатоквартирних будинків – на 23 % більше.

Отже, застосування механізму субсидій, з одного боку, дозволяє громадянам, що отримують невисокі доходи дещо скоротити витрати на сплату житлово-комунальних послуг. Це є надзвичайно актуальним наразі оскільки доходи значної частки громадян є низькими, а вартість тарифів на енергоносії істотно зросла. Однак при цьому можливість отримання субсидій, нескладний порядок їх призначення, а також відсутність істотного переліку обмежень щодо їх отримання є потужним дестимулюючим фактором енергозбереження. Така ситуація є надзвичайно загрозовою для енергетичної безпеки України, оскільки наразі стратегічною метою для України є зниження енергетичної залежності, що може бути досягнуто за рахунок побудови енергоефективної економіки.

Застосування більшістю домогосподарств багатоквартирного будинку субсидій також істотно знижує мотивацію до створення ОСББ, оскільки процедура його створення є досить складною, витратною а також потребує істотних зусиль ініціативної групи. В більшості випадків, основним мотивом, що стимулює громадян створювати ОСББ є економічний. Більшість власників квартир прагнуть отримувати більш якісні послуги за нижчою вартістю.

Оскільки більшість багатоквартирних будинків, що експлуатується наразі побудовано ще за радянських часів, коли питання економного використання енергоресурсів не було актуальним, тому енергоефективність таких будинків була низькою ще на момент їх побудови і знижувалася протягом всього періоду експлуатації будинків. Для підвищення енергоефективності таких будинків необхідно провести ряд робіт, пов'язаних з утепленням, модернізацією системи опалення, встановленням лічильників. Значна частка таких будинків потребує капітального ремонту. Зазначені заходи потребують значного фінансування, і як демонструє досвід, залучення коштів для здійснення подібних заходів досить ефективно забезпечують ОСББ. З метою отримання таких коштів ОСББ можуть або організувати збір коштів на серед власників квартир або звертатися до кредитних установ. Якщо обрано другий варіант, наразі є можливість частину витрат на сплату кредитів компенсувати за рахунок держави.

06 травня 2015 р. набуло чинності рішення Кабінету Міністрів України [10] про продовження Державної програми стимулювання населення до впровадження енергоефективних заходів шляхом відшкодування частини суми кредиту, залученого на придбання котлів, а також розширено перелік обладнання та матеріалів, на які поширюється дія зазначеної програми. Механізм забезпечує відшкодування частини суми кредитів, залучених на придбання енергоефективного обладнання та матеріалів у багатоквартирних та одноквартирних будинках у розмірі 40 % витрат для ОСББ (ЖБК) для впровадження заходів з енергозбереження у багатоквартирних будинках.

Основними напрямками підвищення енергоефективності багатоквартирних будинків є термомодернізація та модернізація системи опалення (рис. 2.23).

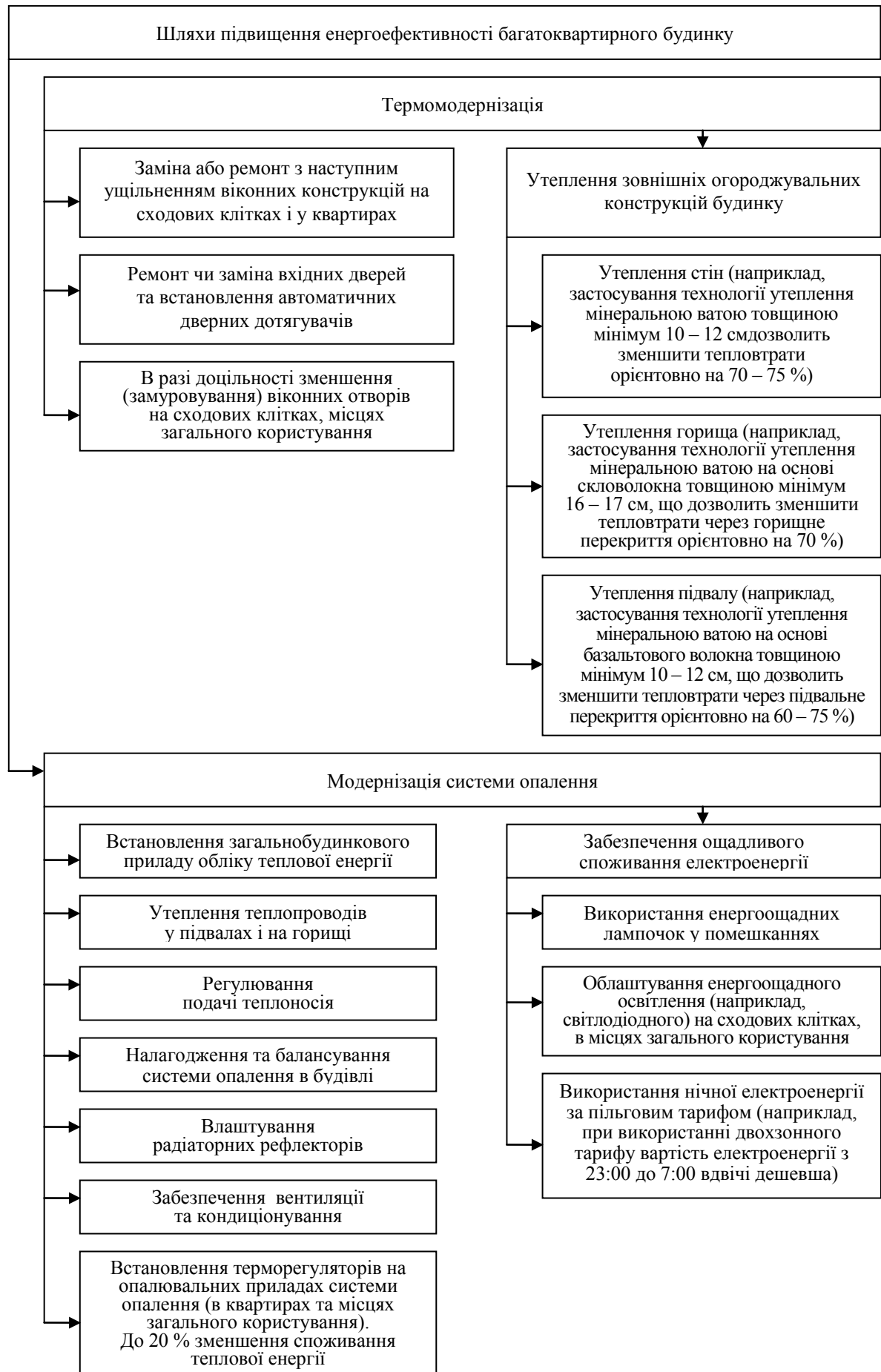


Рис. 2.23. Напрями підвищення енергоефективності багатоквартирного будинку

Джерело: узагальнено автором

До енергоефективного обладнання, технологій, матеріалів, що впроваджуються із застосуванням механізму компенсації процентів у визначеному розмірі за користування кредитами, отриманими позичальниками у фінансових установах, і відповідних робіт для об'єднань співвласників багатоквартирних будинків та житлово-будівельних кооперативів належать:

- обладнання для облаштування індивідуальних теплових пунктів;
- регулятори теплового потоку за погодними умовами та відповідне додаткове обладнання і матеріали до них.
- вузли обліку води (гарячої, холодної) та теплової енергії, зокрема засоби обліку та відповідне додаткове обладнання і матеріали до них;
- вікна з двокамерними енергоефективними склопакетами для місць загального користування (зокрема, під'їздів, підвалів, горищ);
- матеріали для проведення робіт з теплоізоляції зовнішніх стін, підвальних приміщень, горищ, покрівель та фундаментів;
- матеріали та обладнання для модернізації систем освітлення місць загального користування.

Виконавцем державної програми та розпорядником виділених на її реалізацію коштів є Державне агентство з енергоефективності та енергозбереження України, експерти якого розробили та приймають активну участь у впровадженні енергоефективних заходів.

Функцією Держенергоефективності є перерахування банкам кошти для відшкодування одноразово кожному позичальнику. Уповноваженими установами для здійснення стимулювання населення, ОСББ та ЖБК до впровадження енергоефективних заходів шляхом відшкодування частини суми кредиту, згідно до укладених з Державним агентством з енергоефективності та енергозбереження України є: публічними акціонерними товариствами “Державний ощадний банк України”, “Державний експортно-імпорتنний банк України”, публічним акціонерним товариством акціонерний банк “Укргазбанк”. За підсумками 2015 р. було забезпечено організацію виплат відшкодування ОСББ на сумму близько 17 млн. грн. Протягом наступного 2016 р. відбувалося збільшення обсягів фінансування подібних проектів. Так, у 2016 р. ОСББ реалізовано 435 проектів з підвищення енергоефективності у багатоповерхівках, що у 2,2 рази більше ніж у 2015 р. На ці цілі ними залучено 61 млн. грн., що у 3,6 разів більше ніж у 2015 р. [8].

Окрім державної допомоги, чимало ОСББ можуть розраховувати й на додаткову компенсацію відсотків чи суми за кредитом від місцевої влади. В деяких областях та містах сума відшкодування з місцевих бюджетів складає від 20 % до 50 %. Це означає, що у деяких регіонах сумарний розмір компенсації суми коштів, залучених на термомодернізацію багатопверхівки, може сягнути 70 % і більше.

Основною перевагою такого способу державного фінансування є низька імовірність корупційних ризиків, оскільки не виникає потреби контактувати з чиновниками, внаслідок чого відсутня можливість штучного завищення вартості енергоефективних товарів учасниками програми. ОСББ не обмежені у виборі виробників чи продавців енергоефективних товарів, надавачів послуг і робіт з їх встановлення. Однак негативним моментом при такому способу співфінансування заходів з енергоефективності є необхідність сплати банківських процентів за кредит, при цьому якщо виплату державного фінансування буде затримано, то обслуговування кредитів буде досить вартісним.

Отже, одним з основних шляхів підвищення енергоефективності багатоквартирних будинків та зниження вартості комунальних послуг є здійснення заходів з їх термомодернізації та модернізації систем опалення. Однак такі заходи є досить дорогими та потребують ініціатив та дій з боку співвласників багатоквартирних будинків, першим з яких є створення ОСББ. Наразі існує державна програма енергоефективності, завдяки якій можливо покрити частину видатків на заходи з термомодернізації модернізації систем опалення багатоквартирних будинків за рахунок держави. ОСББ є тими суб'єктами, що мають право користуватися такою програмою, та отримувати від держави відшкодування частини витрат. Процес створення ОСББ є достатньо складним і потребує певних зусиль з боку співвласників багатоквартирних будинків. Однак наразі дестимулюючим фактором до створення ОСББ та підвищення енергоефективності будинків є можливість застосування механізму субсидій, що дозволяє значно знизити вартість комунальних послуг для населення, однак при цьому втрачається мотивація у населення до ощадливого споживання енергоносіїв, що є перешкодою у шляху до зниження енергетичної залежності держави.

### **3.12. Особливості забезпечення надійності електропостачання споживачів у ринкових умовах на регіональних електроенергетичних ринках**

© Люльчак З. С.

*к.е.н., доцент кафедри маркетингу і логістики,  
Національний університет “Львівська політехніка”, м. Львів, Україна*

Досвід реформування електроенергетики в багатьох країнах світу показав складності та проблеми, які зустрічаються на шляху та пов'язані з надійністю електропостачання. Перехід на конкурентну модель організації електроенергетики вимагав істотних та різноманітних досліджень. Виявилася

необхідність раціонального поєднання ринкових механізмів управління та державного регулювання, яке повинно бути непрямим та "м'яким". Склалося так що введення механізму конкуренції, водночас підвищуючи комерційну ефективність роботи електроенергетичної системи може негативно впливати на надійність електропостачання споживачів енергії.

Основним нормативно-правовим актом, який регулює відносин в електроенергетиці України є Закон "Про електроенергетику", який дав старт для ринкових перетворень та вирішення проблеми забезпечення надійності, чи то системної, чи надійності електропостачання загалом.

Надійність енергосистеми є комплексною властивістю й визначається як здатність енергосистеми виконувати функції з виробництва, передачі, розподілу й постачання споживачів електричною енергією в необхідній кількості й нормованої якості шляхом взаємодії генеруючих установок, електричних мереж і електроустановок споживачів.

Під надійністю електропостачання необхідно розуміти безперервне забезпечення споживачів електроенергією заданої якості відповідно до договірних зобов'язань. У сучасних ринкових умовах надійність електропостачання нерозривно пов'язана з економічними показниками й енергетичною безпекою промислових підприємств. Більше того, надійність електропостачання є товаром, що має свою ціну й реалізується через ринкові послуги, забезпечується усіма суб'єктами ринку в зонах відповідальності за надійність при їх технологічній і економічній взаємодії.

Завдання забезпечення надійності систем електропостачання містить у собі цілий комплекс технічних, економічних і організаційних заходів, спрямованих на зниження збитку від порушення нормального режиму роботи споживачів електроенергії, а саме:

- вибір критеріїв і кількісних характеристик надійності;
- випробування на надійність і прогнозування надійності діючого устаткування;
- вибір оптимальної структури проєктованих (реконструйованих) систем електропостачання за критерієм надійності;
- забезпечення заданих технічних і експлуатаційних характеристик роботи споживачів;
- розроблення найбільш раціональної, з погляду забезпечення надійності, програми експлуатації системи (обґрунтування режимів профілактичних робіт, норм запасних елементів і методів пошуку несправностей) [1, с. 35 – 40].

Аналіз документального забезпечення, яке у тій, чи іншій мірі торкається проблеми надійності електропостачання показує, що на теперішньому етапі потрібним є вирішення таких задач як:

1. Зменшення кількості виробничого персоналу за умов зростання чисельності управлінського та фінансового, особливо у енергопостачальних компаніях, що несприятливо впливає на надійність електропостачання споживачів електроенергії;

2. Використання як традиційних джерел інвестування розвитку електропостачання, так і появи нових, нетрадиційних. До традиційних відносяться амортизаційні відрахування та відрахування з прибутку енергокомпаній. До нетрадиційних – державні цільові програми, зовнішній позиковий капітал (внутрішній та зарубіжний).

3. Впровадження в теорію та практику управління електроенергетикою поняття електроенергії не як традиційного ринкового товару, а як дуже специфічного товару-послуги самого високого інфраструктурного соціально-економічного рівня.

4. Підвищення значення держави у контролі та забезпеченні надійності електроенергетики.

5. Розробка нормативно-правових матеріалів з врахуванням нових господарських відносин та специфіки технологічних процесів генерування, передачі, постачання та споживання електроенергії.

6. Розробка економічних та договірних механізмів, страхування відповідальності, відшкодування послуг з надійності та збитку від ненадійності поряд з правовим та технічним регулюванням, виходячи з загальних принципів та нормативно-правових актів загальнонаціонального та галузевого рівня з врахуванням місцевих особливостей.

7. Для забезпечення компетентного, ефективного та надійного функціонування персоналу необхідною є розробка та впровадження оновлених методик підбору та підготовки кадрів, підтримки та підвищення кваліфікації працівників, удосконалення засобів навчання, тестування знань та тренувань.

У будь-якому разі на регіональних рівнях слід розробити "Концепцію забезпечення надійності регіональної електроенергетичної системи", основним завданням якої має стати конкретизація проблем забезпечення надійності електропостачання споживачів електроенергії з врахуванням стану устаткування та наявних умов функціонування галузі на регіональному рівні та її фінансово-економічного стану. Під регіональною електроенергетичною системою слід розуміти сукупність суб'єктів електроенергетики (електрогенеруючі, передавальні та постачальні компанії), які забезпечують електроенергією споживачів електроенергії, які входять в адміністративно-територіальну одиницю (регіон, область). Водночас потрібно усвідомлювати, що не всі можливі засоби

можуть бути реалізовані на регіональному рівні. Значну частину робіт з забезпечення надійності слід зробити на національному рівні, а саме формування законів, регламентів та інших нормативно-правових актів, створення організаційних структур державного рівня з регулювання та контролю за надійністю електроенергетики. Одночасно регіональні електронергетичні системи повинні освоювати нові економічні та організаційні механізми управління надійністю по мірі прийняття нових законів, регламентів, стандартів і т.д. У зв'язку з великою соціальним значенням електроенергії, яка є однією з основ сучасної системи життєдіяльності суспільства, регіональні електроенергетичні системи (РЕЕС) є відповідальним суб'єктом електроенергетичної безпеки відповідного регіону. Попередження та ліквідація відмов системи по безпеці включає в себе і задачі забезпечення надійності, тому такі відмови мають бути детально проаналізовані та мають бути вироблені відповідні засоби, інструменти.

Теперішній стан українських електромереж є наслідком соціально-економічних криз 90-их та 20-их років. Подальший розвиток РЕЕС очевидно буде залежати від економічного курсу країни уцілому, а у другу чергу і від ситуації в регіоні та його електроенергетиці. Тенденція зростання виробництва потребуватиме збільшення виробництва електроенергії, задіявання резервних потужностей та будівництво нових генеруючих.

Аналіз існуючої ситуації дозволяє зробити висновки, що в РЕЕС розвивається ряд негативних з позиції надійності тенденцій. До них можна віднести:

- зростання частки фізичного та морального зносу обладнання електроенергетичних систем (ЕЕС), яке експлуатується. Більше половини основних виробничих засобів перевищили проектні терміни експлуатації та потребують реконструкції, модернізації та заміни. Причинами поганого стану з оновленням зношеного устаткування є виділення недованих обсягів фінансування для проведення технічного обслуговування та ремонтів, придбання запасних частин нового устаткування і т.п.;

- затратне генерування, передача, постачання та споживання електроенергії. У більшості РЕЕС зростають граничні витрати палива на генерування електроенергії, зростають потреби в електросистемах та витрати на електропостачання. До технічних втрат додаються ще й комерційні втрати;

- фінансова криза у галузі, зумовлена дефіцитом інвестицій через розпорошення фінансових ресурсів по багатьох акціонерних товариствах та бізнес-одинацях;

- значне обмеження на існуючі генеруючі потужності РЕЕС. Основними причинами є незадовільний стан устаткування, недовантаження по виробництву тепла на ТЕЦ, спалювання непроектного палива, недостатні запаси гідроресурсів та обмеження по напору води на ГЕС, недостатня пропускна здатність ліній електропередач;

- врахування специфічних особливостей регіональних електроенергетичних систем, які впливають на її надійність, наприклад проблема постачання палива ТЕС чи велика частка ГЕС у встановленій потужності ЕЕС.

Перераховані негативні тенденції можуть привести до кризи в електропостачанні, яка може призвести до тривалого обмеження економічного та соціального розвитку відповідного регіону.

Макроекономічною задачею забезпечення надійності ЕЕС на регіональному рівні має стати задача нейтралізації проявів суспільної неефективності роботи системи, яка полягає у постійному зростанні тарифів, особливо для населення; періодичних обвалах системи та проявах інших дисбалансів. В умовах лібералізації ринку електроенергії до відмов по надійності технічного характеру додаються так звані “відмови ринку”. Для отримання реальної картини стану РЕЕС та необхідних шляхів її розвитку потрібно проводити моніторинг по основним показникам, які найбільшою мірою характеризують надійність електропостачання.

Основними характеристиками системної надійності та надійності електропостачання споживачів електроенергії слід рахувати:

1. Достатність (збалансованість) попиту і пропозиції електроенергії по потужності та енергії з врахуванням необхідного резервування.

2. Доступність електроенергії: прийнятні для споживачів тарифи; вільний вибір джерела електроенергії через енергетичну систему.

3. Технічні характеристики: знос основних виробничих фондів; аварійність устаткування; можливість відновлення об'єктів та їх нормальної роботи у випадку аварій.

4. Економічні та фінансові характеристики: витрати на оновлення основних виробничих фондів; рівень прибутковості енергокомпанії; обсяги інвестицій.

У табл. 3.21 подано перелік рекомендованих конкретних індикаторів надійності РЕЕС.

Зрозуміло, що значення індикаторів залежать від якості управління електроенергетикою регіону. Для нормального функціонування та розвитку електроенергетичної системи важливим є вирішення проблеми інвестиційного забезпечення. Для цього необхідно взаємопов'язано оцінити мінімально допустимі межі процесу виробництва, наявність реальних джерел фінансування та шляхи їх раціонального з точки зору функціонування електромереж застосування. За змістом мінімальний рівень інвестиційного процесу повинен відповідати умові простого відтворення основних виробничих фондів.

Таблиця 3.21

**Індикатори надійності РЕЕС**

Балансові характеристики	Економічні характеристики	Технічні характеристики
Відношення обсягу наявної потужності ЕС до максимуму енергонавантаження по кожній частині території регіону	Відносна зміна енергомосткості валового регіонального продукту за рік	Відносний фізичний знос (технічний ресурс) основних виробничих фондів (котлів, турбін, генераторів, трансформаторів, ліній електропередач, комутаційної, захисної та вимірювальної апаратури)
Відношення обсягу потенційно можливих запасів первинних енергоресурсів до потрібних для покриття навантаження	Рентабельність роботи електроенергетичних компаній в регіоні	
Ступінь забезпечення власними аварійними джерелами електроенергії	Коефіцієнт оновлення основних виробничих фондів у відповідному році	Коефіцієнти готовності основного устаткування електростанцій та інших генеруючих потужностей
Відносний обсяг недопоставок електроенергії споживачам у звітному році до загальної потреби у ній	Граничне споживання палива на виробництво електроенергії в регіоні	Коефіцієнти аварійних (непланових) простоїв ліній електропередач різних напруг основної, постачальної та передавальної електричної системи
	Співвідношення регіональних цін на електроенергію із всеукраїнськими	

*Джерело: авторська розробка*

Мінімальний річний коефіцієнт оновлення основних виробничих фондів в електроенергетиці повинен бути не менше 2 – 4 %. У промислово розвинутих країнах, незважаючи на наявність різних джерел позикових ресурсів, більшість великих електрокомпаній для своїх інвестиційних проектів використовують переважно два джерела: амортизаційні відрахування та прибуток. Зазвичай за рахунок амортизації покривається 50 – 70 % капіталовкладень. Решта необхідних засобів виділяється з прибутку компаній. Це дозволяє їм з мінімальними витратами реалізувати свої інвестиційні програми, забезпечуючи тим самим необхідний рівень конкурентного функціонування компанії [2].

У теперішніх умовах можна рекомендувати показник рентабельності на рівні 35 – 40 %. Більш низький рівень означає не тільки зменшення власних інвестиційних ресурсів, але і погіршує співвідношення між нормою рентабельності та реальною процентною ставкою кредитування, скорочує можливості залучення позикових ресурсів [3, с. 90].

Пропонуються кількісні характеристики мінімально допустимих (порогових) значень основних показників надійності (табл. 3.22).

Таблиця 3.22

**Значення ключових показників надійності для РЕЕС**

Група об'єктів моніторингу	Показник, одиниця вимірювання	Область значень	
		Передкризова	Кризова
Баланс потужності та енергії	Відношення величини наявної генеруючої потужності до річного максимуму енергонавантаження	1,1 – 1,2	Менш 1,1
	Частка домінуючого ресурсу у структурі первинних теплоенергетичних ресурсів, %	50 – 70	Понад 70
Технічні характеристики	Середній фізичний знос основних виробничих фондів, %	40 – 50	Понад 50
Економіка і фінанси	Відношення темпів зниження енергомосткості та росту ВРП	Дорівнює темпам росту ВРП	Нижче за темпи росту ВРП
	Оновлення основних виробничих фондів, %	2 – 4	Менше 2
	Рентабельність роботи енергокомпанії (відношення прибутку до поточних витрат), %	35 – 40	Менше 35

*Джерело: авторська розробка*

Стратегія будь-якої регіональної електроенергосистеми в Україні найближчим часом повинна бути направлена на вирішення наступних основних задач, пов'язаних з надійністю:

- формування достатнього потенціалу працездатних крупних ГЕС, ТЕЦ за рахунок збалансування та взаємодоповнення;
- інтенсивне оновлення генеруючого та мережевого устаткування електроенергетичної системи з метою підвищення надійності елементів ЕЕС, з врахуванням розвитку НТП та “проривних” технологій;
- реалізація принципу раціонального поєднання централізованого та децентралізованого електропостачання. Централізація забезпечує інтеграцію енергонадлишкових районів з



енергодефіцитними, їх взаємодопомога та взаєморезервування. Децентралізація сприяє самозабезпеченню, деконцентрації, підвищенню надійності електроспоживання за рахунок зниження ролі комунікацій, підвищення керованості;

– створення умов та здійснення в ЕЕС та економіці регіону енергозберігаючих технологій, посилення ролі споживачів електроенергії у підвищенні надійності його енергопостачання з врахуванням специфічних особливостей регіону;

– розширення участі в регіональних ринках електроенергії та потужності, розвитку міжсистемних та міждержавних зв'язків;

– створення умов для формування фінансових ресурсів, необхідних для виходу на шлях стійкого та ефективного розвитку як самої ЕЕС, так і всього господарського комплексу регіону (області) і реалізації позитивних соціальних програм;

– підвищення рівня керованості ЕЕС шляхом впровадження сучасних технічних засобів, методів та технологій управління;

– забезпечення надійної та компетентної професійної діяльності управлінського персоналу енергокомпаній шляхом створення ефективної системи підготовки та атестації персоналу.

У рамках вирішення задач надійності РЕЕС слід приділити увагу розробці та реалізації Концепції забезпечення надійності даної ЕЕС. Ця Концепція має бути націлена на забезпечення умов надійної роботи електроенергетичної галузі регіону в штатних та нештатних ситуаціях, визначати умови для конструктивної взаємодії органів законодавчої та виконавчої влади, муніципальних органів, АТ, ОТГ, підприємств і т.д.

При управлінні розвитком ЕЕС слід максимально використати можливості виконавчої влади на місцях, комерційні ініціативи та ринкові механізми на рівні регіону, особливо у розподільчій генерації. Повинні бути продумані та використані усі можливі механізми підвищення привабливості інвестицій у проекти розвитку генерації та мереж на конкретному регіональному рівні. У цих умовах було б доцільно розробити та виконати ряд цільових програм з підвищення надійності РЕЕС:

1. З оновлення устаткування ЕЕС.

2. З розвитку встановлених значних (централізованих та розподільчих).

3. З розвитку основних, електропередавальних та розподільчих ЕС.

4. З розвитку на сучасному рівні автоматичних систем регулювання, управління, діагностики, захисту і т.д.

5. Створення нормативно-правової бази з надійності для управлінських структур місцевого та корпоративного рівня з врахуванням законів, регламентів та стандартів національного рівня.

6. Формування структури управління галуззю, яка володіє достатнім рівнем відповідальності, компетентності та активності [4, с. 256].

До основних аспектів надійності ЕЕС на регіональному рівні відносять забезпечення надійності: електростанцій; системних електросистем; розподільчих енергосистем; систем енергопостачання споживачів електроенергії; систем енергопостачання великих міст; РЕЕС уцілому.

Кожен з перерахованих аспектів характеризується наступним чином:

1. Надійність електростанцій. У різних РЕЕС можливі різні електростанцій (ЕС) та їх характеристики і, відповідно, різні способи забезпечення їх надійності. Крім основних напрямків забезпечення надійності ЕС (забезпечення ЕС паливом, підвищення надійності устаткування, резервування усіх технологічних ланок, підвищення ступеня автоматизації управління), на ТЕЦ враховується взаємопов'язаність виробництва теплової та електроенергії; для ГЕС до серйозних наслідків можна віднести незабезпеченість гідроресурсами у маловодні роки чи при інтенсивному використанні водосховищ і при відсутності замінюючих потужностей на ТЕС. Надзвичайно важливо для ЕС усіх видів, але особливо для ТЕС є вимога життєздатності системи постачання при різних непередбачуваних ситуаціях в ЕЕС [5, с. 207].

2. Надійність системних енергосистем. Ринкові відносини в електроенергетиці істотно піднімають роль електропостачання в ЕЕС і, особливо, їх надійність. При експлуатації системних ЕС надійність забезпечується за рахунок контролю стану та підтримки працездатності ЕС (моніторинг, техобслуговування, ремонт) реконструкції і технічного переозброєння з застосуванням сучасних комутаційних апаратів та засобів визначення пошкоджень, наявності резерву та підвищення керованості ЕС.

3. Надійність розподільчих ЕС. Розподільчі ЕС 110 кВ та нижче повинні вимагати до себе підвищеної уваги у силу їх значної протяжності та високого ступеня зносу, фізичного та морального старіння. Способами забезпечення надійності розподільчих ЕС є: контроль стану та підтримки працездатності ЕС; реконструкція і переозброєння із застосуванням сучасних конструкцій опор, проводів, комутаційних апаратів, засобів визначення місць пошкодження і т.д.; підвищення

керованості ЕС засобами регулювання коефіцієнтів трансформації під навантаженням, джерелами реактивної потужності, дистанційним управлінням, достатньою кількістю комутаційних апаратів, забезпечення штатною кількістю персоналу, оснащення ремонтних бригад достатньою кількістю сучасного прохідного транспорту, технікою, інструментами та пристосуваннями.

4. Надійність систем електропостачання споживачів електроенергії. Ця проблема потребує особливої уваги, а саме: виокремлення споживачів-регуляторів, призначених для аварійного їх обмеження і навіть відключення на погоджений час з метою підвищення ефективності управління ЕС; зменшення впливу на споживачів електроенергії короткочасних (долі та одиниці секунд) перерв живлення у тому числі часткових; оцінка залежності якості та втрат електроенергії від рівня надійності систем електропостачання.

5. Надійність систем ЕП великих міст. Для вирішення цієї проблеми слід звернути увагу на наступне: не усі міста мають достатньо надійну зовнішню схему електропостачання, під якою слід розуміти наявність не менше трьох незалежних джерел електроенергії та закільцовану живленнєву систему; з позиції життєздатності найбільш ефективним є комбіноване виробництво тепло- та електроенергії на ТЕЦ в межах міста; на кожній ТЕЦ повинна бути передбачена система заходів, яка виключає посадку станції “на нуль”.

6. Система надійності регіональної електроенергетичної системи. Охоплює усі заходи з забезпечення надійності від ЕС до кінцевого споживача. Для неї необхідними передумовами надійності мають стати: заходи з забезпечення надійності повинні передбачатися у планах розвитку ЕЕС та їх реалізація повинна бути фінансово та матеріально забезпечена; погодження вимог до надійності в межах РЕЕС з вимогами по ЕЕС загалом і з сусідніми ЕЕС; у діях персоналу і автоматики пріоритетом має бути збереження функціонування системи безперебійності електропостачання понад інтересами окремих суб’єктів, власників; крім вимог із забезпечення надійності та життєздатності ЕЕС на загальнонаціональному, галузевому рівнях, мають бути розроблені відповідні місцеві інструкції, стандарти із забезпечення надійності РЕЕС.

### **3.13. Консалтинг енергоефективності**

© Примостка О. О.

*д.е.н., професор, професор кафедри міжнародного менеджменту,  
Київський національний економічний університет ім. Вадима Гетьмана, м. Київ, Україна*

Найактуальнішими тенденціями розвитку економіки останніми десятиліттями стає система стимулювання економічного зростання та посилення екологічної безпеки глобальної економіки та розвиток систем енергозбереження.

На початку ХХІ ст. формалізувалося сучасне бачення світової енергетики – максимально ефективно використання природних паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР) та потенціалу енергетичного сектора для зростання світової економіки і підвищення якості життя населення планети. Енергоефективність національної економіки є пріоритетним напрямом у сфері енергетичної політики багатьох країн світу. Розвиток цього напрямку обумовлений такими факторами, як: вичерпність невідновлюваних енергетичних ресурсів, відсутність альтернативи замінити їх на більш екологічно безпечні та менш енергоємні, наявність ризиків при їх видобутку, переробленні та транспортуванні – усі ці чинники сприяють розвитку досліджень у даному напрямі.

За даними Міжнародної енергетичної агенції (МЕА) у енергетиці глобальної економіки розпочинається 4-й інвестиційний цикл, якому притаманні такі глобальні тренди:

- 1) реструктуризація ринку газу: мобільний, конкурентний, з розвиненою дистрибуцією і спотовими цінами;
- 2) зростання екологічних вимог;
- 3) підвищення ефективності рішень в енергетиці під тиском технологічного прогресу;
- 4) формування нових центрів тяжіння інвестицій з більш низькими, ніж у традиційній енергетиці “порогами входу”;
- 5) кардинальна зміна характеру попиту і статусу споживача енергії на ринку: попит на “цифрову енергію”; “електрифікація” енергетичного ринку і скорочення поставок тепла; зростання рівня керування споживанням з боку споживача;
- 6) інтеграція нових технологічних рішень, нових споживачів і нових постачальників, а також застосування цих нових елементів енергетики в міських та виробничих системах (інтелектуальні системи та мережі, побудовані згідно вимог концепції Smart Grid);
- 7) реструктуризація бізнес-процесів; “розосереджений” характер нової енергетики вимагає мережевої організації галузі, гнучкості учасників та інфраструктури.

У розвинутих країнах формується нова енергетична цивілізація, яка характеризується створенням систем енергозбереження із штучним інтелектом, побудованих на основі концепції Smart Grid.

Розвиток енергетики 4-го інвестиційного циклу реалізовуватиметься в рамках таких моделей:

– модель “Енергоефективність+”: розвиток атомної енергетики, нетрадиційних та відновлюваних джерел енергії (НВДЕ);

– запуск програм енергоефективності другої хвилі (он-лайн керування споживанням), технології уловлювання та зв’язування CO<sub>2</sub> (Carbon capture and sequestration – CCS);

– посилення у паливно-енергетичному балансі (ПЕБ) відновлюваної енергетики;

– модель “Нова парадигма – ринок потужності”: лібералізація ринку в сфері генерації, розосереджена генерація; Smart Grid у версії “активні мережі”; замість ринку енергетичних послуг і палива.

– ринок енергетичних потужностей і вихід на нього “покупця – продавця” (активні будинки, електротранспорт тощо) [1].

Одним із основних показників для оцінки ефективності використання енергоресурсів в країні виступає енергоємність ВВП [2]. Аналіз енергоефективності країн та регіонів світу лише за показником енергоємності ВВП не в повній мірі адекватне – не усі країни, які мають низький рівень енергоємності ВВП (відповідно мають високий рівень енергоефективності) мають високий рівень економічного розвитку. І навпаки, країни, які мають найвищі рівні добробуту (ВВП на особу) не завжди мають високий рівень енергоефективності. Для більш адекватної оцінки рівня енергоефективності МЕА запропонована використовувати декомпозиційний підхід за секторами та галузями економіки та їх частки у ВВП. Такий підхід не тільки дозволяє розділити головні фактори, що визначають енергоспоживання, та відокремити окремі складові впливу на енергоефективність в порівнянні зі стандартними оцінками, але і вимагає певної широкої бази даних. Безумовно, одним із варіантів декомпозиції можна вважати розгляд регіональних особливостей енергоспоживання та визначення ефективності використання енергії окремими регіонами країни.

У дослідженні на основі рекомендованих Міжнародним енергетичним агентством показників оцінювали рівень енергоефективності та потенціал енергозбереження система показників має важливе практичне застосування, оскільки дає можливість стейкхолдерам моніторити прогрес у сфері енергоефективності та енергозбереження (табл. 3.23).

Таблиця 3.23

**Завдання та індикатори системи моніторингу енергоефективності**

Завдання	Індикатори
Розширити інфраструктуру та модернізувати мережі для забезпечення надійного та сталого енергопостачання на основі впровадження інноваційних технологій	Виробництво електроенергії, млрд. кВт-год. Технологічні витрати електричної енергії в розподільчих електромережах, % Втрати тепла в тепломережах, %
Забезпечити диверсифікацію постачання первинних енергетичних ресурсів	Максимальна частка імпорту первинних енергоресурсів (крім ядерного палива) з однієї країни (компанії) в загальному обсязі їх постачання (імпорту), % Частка одного постачальника на ринку ядерного палива, %
Збільшити частку енергії з відновлюваних джерел у національному енергетичному балансі, зокрема за рахунок введення додаткових потужностей об’єктів, що виробляють енергію з відновлюваних джерел	Частка енергії, виробленої з відновлюваних джерел, у загальному кінцевому споживанні енергії, %
Підвищити енергоефективність економіки	Енергоємність ВВП (витрати первинної енергії на одиницю ВВП), кг н. е. на 1 дол. США за ПКС 2011

*Джерело: авторська розробка*

Особливо важливими для реалізації та моніторингу виконання численних державних програм є показники енергоефективності в секторі теплозабезпечення, на який припадає 78 % сукупного енергоспоживання населення. Індикатори енергоефективності опалення та гарячого водопостачання розраховані на основі методу декомпозиції кінцевого енергоспоживання населення, запропонованого Міжнародним енергетичним агентством (МЕА). Для оцінювання тенденцій у використанні енергоресурсів як основний індикатор галузі тепlopостачання обране споживання теплової енергії на опалення й гаряче водопостачання, нормоване на квадратний метр загальної площі помешкання. Як допоміжні, згідно з методологічними рекомендаціями МЕА, також використовуються показники споживання теплової енергії на опалення та гаряче водопостачання, нормовані на одну особу та на одне домогосподарство [3].

Отже, Україна вдвічі поступається країнам ЄС у енергоефективності теплозабезпечення – середнє значення енергоефективності опалення й гарячого водопостачання по країні в 2014 р. зросло на 1,9 % порівняно з 2013 р. і становило 52 % від рівня країн ЄС.

Енергетична безпека України, посилення темпів розвитку економіки, укріплення її енергетичної міцності та зростання рівня життя населення залежать від кількості доступних паливно-енергетичних ресурсів, що видобуваються, переробляються та споживаються економічною системою. Рациональне споживання паливно-енергетичних ресурсів є актуальним для розвитку нашої країни, адже ефективність їх використання є передумовою зростання технічного потенціалу промислового виробництва та конкурентоспроможності продукції, а отже, стане передумовою для укріплення міжнародних позицій України. Переважна більшість технологій генерації енергії, щосьогдні використовуються, збільшують масштаби впливу промисловості на довкілля через утворення шкідливих викидів. Збільшення обсягів випуску промислової продукції відбувається зі зростанням кількості екологічних загроз на локальному та глобальному рівнях. Тому мінімізація негативного впливу від видобутку, перероблення та споживання енергетичних ресурсів на довкілля стає одним із головних завдань сьогоднішнього порядку із забезпеченням поліпшення соціальної та економічної сфери національної економіки через посилення позитивних впливів промислового виробництва.

Актуальні питання енергозбереження та енергоефективності, зменшення енергоємності економіки України та обґрунтування програм із підтримки енергоефективності національної економіки знайшли висвітлення у наукових працях О. С. Власюка [4] та В. О. Баранніка [5], В. М. Гейця, В. В. Григоровського, С. Ф. Єрмілова, Ю. П. Ященко та ін. [6], Н. В. Мици [7] та В. П. Розена [8]. Однак постійні зміни циклів активності підприємств України через кризові явища в економіці вимагають продовження досліджень у цьому напрямі.

В Україні діє велика кількість нормативно-правових актів різних рівнів (більше 250 актів), були запропоновані заходи, зокрема й ті, які враховують досвід розвинених країн світу. У рамках пріоритетності скорочення питомого споживання енергоресурсів Україна долучається до різних європейських ініціатив, зокрема до Договору про Енергетичне співтовариство. На сьогодні в Україні діють:

– “Енергетична стратегія України на період до 2035 року”, яка передбачає інтеграцію української енергосистеми до європейської із збільшенням експорту енергії, зниження рівня енергоємності промислового виробництва та підвищення енергетичної безпеки держави [9];

– регіональні програми підвищення енергоефективності;

– галузеві програми підвищення енергоефективності;

– програми зменшення споживання енергетичних ресурсів бюджетними установами через їх рациональне використання;

– державні стандарти з енергозбереження, нормування витрат, енергетичного маркування, енергоаудиту тощо.

Проте результати діяльності у напрямі підвищення енергоефективності є досить скромними (енергоємність валового внутрішнього продукту України залишається у 3–4 рази вищою, ніж у європейських країнах). Вона характеризує споживання енергоресурсів на одиницю виробленої продукції (як часткові показники енергоємності використовують: електроємність, теплоємність, нафтоємність, газоємність тощо – назва показників свідчить про їх зміст). При оцінюванні енергоємності на рівні країн зазвичай використовують стандартний показник – тонни нафтового еквівалента (т. н.е.) на одиницю ВВП, зведеного до порівнянної оцінки з купівельної спроможності використаної грошової одиниці [8].

Потенційні здобутки від підвищення енергоефективності для України загальновідомі: зниження споживання енергоресурсів і залежності від їх імпорту, підвищення конкурентоспроможності українських товарів на світових ринках, зростання добробуту населення, зниження капіталовкладень в енергетичну інфраструктуру та поліпшення екологічної ситуації завдяки зниженню викидів парникових газів.

Потенційне енергозбереження від підвищення енергоефективності кінцевого енергоспоживання та генерації електроенергії на ТЕС до європейського рівня складає 27,1 млн. тонн нафтового еквівалента, або 29,9 млрд. м<sup>3</sup> природного газу в 2014 р. Енергоефективність залишається для України майже неосвоєним джерелом енергоресурсів, але розвиток цього джерела здатен перетворити країну в їх нетто-експортера. Ефективна політика з підвищення енергоефективності має починатись із визначення потенціалу енергозбереження, встановлення цільових показників, регулярного моніторингу виконання поставлених завдань і вжиття заходів у разі їх невиконання.

Цілі сталого розвитку (ЦСР), які ще називають “Глобальними цілями” – це загальний заклик до дій, спрямованих на те, щоб покінчити з бідністю, захистити планету і забезпечити мир і процвітання

для всі людей у світі. Вказані сімнадцять Цілей є розвитком успіху Цілей розвитку тисячоліття; крім того, серед інших пріоритетів, вони також охоплюють нові сфери, такі як кліматичні зміни, економічна нерівність, інновації, стале споживання, мир і справедливість. Цілі є взаємопов'язаними – ключем до успіху в одній із них є вирішення питань, загалом пов'язаних із іншими [11].

У порівнянні з результатами дослідження проведеного 2012 р., енергоефективність країни збільшилася на 1,8 % і становила 60 % від рівня ЄС у 2014 р., проте темпи зростання занадто повільні, і країні знадобиться не менше 30 років, щоб досягти рівня ЄС 2012 р.

Дослідження сучасного стану витрат і збереження всіх видів енергії у промисловості свідчить про те, що питання розробки обґрунтованої системи заходів щодо формування та оцінювання потенціалу енергозбереження є вкрай актуальним.

Система консалтингу енергоефективності підприємства формується із п'яти елементів (рис. 3.24).

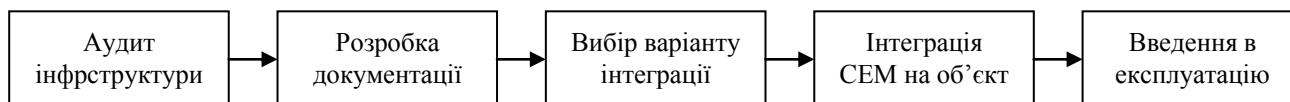


Рис. 3.24. Система консалтингу енергоефективності

Джерело: узагальнено автором

Етап аудиту інфраструктури, починається із формування робочої групи експертів з питань енергоефективності. Робоча група займається збором інформації з використанням методів соціометрії. Аналіз отриманої в процесі вивчення об'єкту інформації, проводиться експертами у двох напрямках: з позицій економічної доцільності та технічної можливості. Передпроектний звіт включає опис вихідної ситуації на підприємстві щодо поточної енергоефективності об'єкту та стратегічної потреби у споживання енергії, опис та аналіз існуючих недоліків в енергосистемі об'єкту. Робочою групою розробляються проектна пропозиція заходів з підвищення енергоефективності. Також консалтингова компанія формує карту можливих існуючих дотацій актуальних для регіону та сфери діяльності клієнта.

Група технічних консультантів визначає існуючий потенціал зниження витрат та екологічних потенціалів. Розробка документації включає підготовку пропозицій щодо інтеграції об'єкта з системою енергоменеджменту та передбачувана ефективність впровадження.

Підсистема оцінки поточного стану включає визначення виробничих можливостей, технічних параметрів та фінансове обґрунтування доцільності впровадження інноваційних енергосистем та економічна оцінка пропозицій з енергозбереження, зокрема перерахування потенціалів енергозбереження пропозиція списку заходів з енергозбереження, ознайомлення з можливими програмами і дотаціями. Аналіз існуючих обсягів споживання енергії і витрат на підприємстві та оцінка існуючого стану із залученням розрахунку потреби в енергії дає можливість раціоналізувати комплекс заходів енергоефективності. Актуальним питанням підсистеми оцінки поточного стану є визначення слабких місць та ризиків використання систем енергозбереження (рис. 3.25).

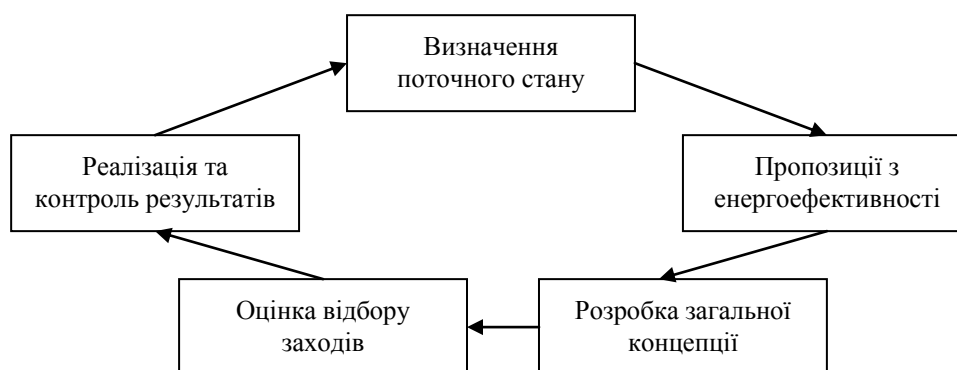


Рис. 3.25. Процес впровадження енергоефективних технологій на підприємстві

Джерело: узагальнено автором

Вибір варіанту інтеграції включає в себе не тільки набір встановленого обладнання, а й сам тип інтеграції: автономна система, "Під ключ" або робота під патронажем диспетчерського центру СЕМ.

Інтеграція СЕМ на об'єкт починається із процесу монтажу системи енергозбереження на об'єкт. Введення в експлуатацію системи енергозбереження супроводжується процесом моніторингу та отримання первинних результатів роботи системи. У разі необхідності, консалтингова компанія здійснює подальшу адаптація сценаріїв сиситеми енергозбереження для досягнення цільових показників.

Введення системи енергоменеджменту в експлуатацію можливе на будь-якому об'єкті: стандартний офіс або офісна будівля, житловий комплекс, дискаунтер або гіпермаркет, медичний заклад або школа, а також на складні специфічні комплекси володіють унікальним обладнанням: промисловий комплекс, завод, виробнича лінія. Також на етапі введення в експлуатацію надаються конкретні рекомендації дій з детальним керівництвом з реалізації рекомендованих заходів.

Відповідно до стандарту ISO 50001:2011 використовується принцип керування якістю – цикл Шухарта-Демінга – “Plan-Do-Check-Act” (“планування, дія, перевірка, коригування”), що дозволяє ефективно керувати енергоспоживанням на системній основі та постійно вдосконалювати роботу з енергетичного менеджменту. Використання засобів діагностичного аудиту енергоефективності дозволить впровадити сучасні інформаційні smart-технології у систему енергетичного менеджменту підприємства та автоматизувати виконання таких складових стандарту ISO 50001:2011, як встановлення енергетичної базової лінії, індикаторів енергоефективності, здійснення моніторингу та необхідних вимірювань для визначення рівня енергоефективності, проведення енергоаналізу, енергопланування та формування технічних звітів тощо.

Основними проблемами національного ринку консалтингових послуг з питань енергоефективності виступає незацікавленість топ-менеджменту підприємства у зменшенні енергетичної складової в собівартості продукції/послуг [12], особливо у тому сегменті, де кінцеві бенефіціари не контролюють бізнес-процеси. Відсутність потужної інформаційної компанії, і відповідно, низький рівень знань про існуючі послуги, відсутність культури та досвіду користування подібними послугами не сприяє активізації попиту на консалтинг енергоефективності. Відносно низька вартість енергетичних ресурсів (газу, електрики, води), яка ще не спонукає до системного і масового впровадження послуг на підприємствах та в муніципалітетах. Перешкодою для впровадження систем енергоменеджменту є відсутність власних фінансових ресурсів для енергоефективних проектів та відсутність доступних спеціалізованих кредитних програм які пропонуються банками за підтримки держави або шляхом впровадження дотаційних програм на рівні держави.

Одночасно тиск на ринок консалтингових послуг у сфері енергоефективності здійснюється з боку відсутності попиту на послуги, що спричиняє ціновий демпінг на ринку консалтингових послуг з енергоефективності, що в свою чергу спричиняє зниження якості послуг консультанта.

Неабиякий вплив на динаміку розвитку ринку консалтингових послуг енергоефективності справляє звичайний інтелект, який проявляється у небажанні власників підприємств залучати зовнішніх консультантів на власні підприємства, оскільки великі компанії, як правило, використовують свої власні ресурси для енергетичних аудитів та інших послуг, оскільки вони мають служби головних інженерів, енергетиків та інших співробітників, які, вони вважають, зможуть виконати цю роботу краще, ніж сторонні спеціалісти. У багатьох випадках компанії не довіряють третім особам втручання в технологічні виробничі процеси, фінанси і т.д., які, на їхню думку, відносяться до комерційної таємниці).

### **3.14. Теоретичні засади аналізу енергетичної та екологічної ефективності металургійних підприємств в Україні**

© Федько Я. В.

*к.е.н., ст. викладач кафедри економічної теорії, маркетингу та підприємництва,  
ДЗ “Луганський національний університет ім. Тараса Шевченка”, м. Старобільськ, Україна*

Підприємства гірничо-металургійного комплексу (ГМК) України є найбільшими виробниками промислової продукції і відповідно найбільшими споживачами паливно-енергетичних ресурсів.

Головною проблемою, що має системне значення для розвитку ГМК України, є високий ступінь зношення основних фондів (50 – 85 %) та відставання технічного рівня металургійної галузі від наукових розробок у світі у зазначеній галузі. В Україні перебільшено норму експлуатації на 54 % коксових батарей, 89 % доменних печей, 87 % мартенівських печей, 26 % конвертерів, майже 90 % прокатних станів. Це призводить до високої енергоємності продукції, збільшення витрат виробництва, а отже зниження конкурентоспроможності металургійної продукції. Споживання паливно-енергетичних ресурсів підприємствами чорної металургії за окремими видами металопродукції щорічно збільшуються. Така зростаюча тенденція споживання значно перевищує енерговитрати виробників інших країн світу.

На металургійних підприємствах в Україні енергоємність виробництва чавуну у I півріччі 2015 р. складала 665,3 кг у.п./т., що майже на 35 % вища ніж на металургійних підприємствах світу. Зокрема, в країнах ЄС цей показник складає 483,4 кг у.п./т, а у Китаї – 477,4 кг у.п./т [5]. При виробництві чавуну

в Україні значна частка енергоресурсів, що споживаються, припадає на природний газ, у провідних країнах світу природний газ при плавленні чавуну практично не використовується. Витрати енергоносіїв в Україні та втрати значної частини зовнішнього та внутрішнього ринків призвели до зниження конкурентоздатності металопродукції вітчизняних виробників (табл. 3.24).

Таблиця 3.24

**Питомі витрати паливно-енергетичних ресурсів на виробництво чавуну**

Показники	ЄС	Китай	Україна
Витрати енергоресурсів, кг у.п./т	483,4	477,4	637,8
Витрати коксу, кг/т	383	398	503,8
Витрати природного газу, м <sup>3</sup> /т	–	–	82,2
Витрати кисню, м <sup>3</sup> /т	62,3	63,9	81,5

Джерело: [1]

Згідно з результатами досліджень Міжнародної енергетичної агенції (МЕА), Україна має найвищий потенціал енергозбереження на тону сталі серед провідних світових виробників. А саме: в Україні – 9 ГДж, у світі в середньому цей показник складає – 4,1 ГДж. Але технології виробництва металопродукції в Україні значно відстають від сучасних стандартів у світі [7].

В умовах економічної самостійності підприємств основним критерієм оцінки економічної ефективності енергозберігаючих заходів є прибуток, що залишається у розпорядженні підприємства. Перш за все, слід зазначити, що впровадження на діючих підприємствах (об'єднаннях) заходів щодо енергозбереження у ряді випадків необхідні значні капітальні вкладення та експлуатаційні витрати, які є елементами суспільно необхідних витрат і в цілому сприяють зростанню ефективності суспільного виробництва [2, с. 97].

Огляд законодавства та аналіз енергоспоживання та викидів парникових газів у чорній металургії України показує необхідність підвищення енергетичної та екологічної ефективності підприємств галузі. Основні положення з аналізу енергетичної та екологічної ефективності металургійних підприємств (технологій виробництва) сформульовані в рамках таких підходів: аналіз теплового ККД, ексергетичний аналіз, концепція інтенсивного енергозбереження, наскрізний енергетичний аналіз, енерго-екологічний аналіз, аналіз екобаланс.

Аналіз теплового ККД. Найбільш простим показником ефективності системи (технологічного процесу) щодо використовуваної енергії є коефіцієнт корисної дії (ККД), заснований на першому законі термодинаміки. ККД визначається як відношення корисно використовуваної в системі енергії (корисної роботи) до сумарної кількості підведеної енергії (витраченої роботи):

$$\eta = A/W \cdot 100, \quad (3.34)$$

де  $\eta$  – коефіцієнт корисної дії, %;

$A$  – корисна робота;

$W$  – витрачена робота.

Отже, умова підвищення енергетичної ефективності технологічного процесу може бути сформульовано у вигляді  $d\eta/dt < 0$ , тобто підвищення енергоефективності відбувається при збільшенні коефіцієнта корисної дії системи. Аналіз енергетичного ККД технологічного процесу для різних варіантів вдосконалення (зміни) процесу і вибір варіанту з найбільшою ККД може бути використаний для обґрунтування вибору методів підвищення енергоефективності.

Недолік аналізу за допомогою теплового ККД полягає у тому, що ККД відображає тільки кількісні показники використання енергії, але не враховує їх якісні параметри. У зв'язку з цим для оцінки ефективності енерготехнологічних процесів отримали розвиток методи ексергетичного аналізу.

Ексергетичний аналіз. Під ексергією розуміється максимальна робота, яка може бути здійснена при оборотному переході будь-якої термодинамічної системи зі стану з заданими параметрами в стан рівноваги з навколишнім середовищем. Оцінка ефективності енерготехнологічних процесів проводиться методом ексергетичної балансів, що відображають рівність підведеної до системи ексергії і відведеної від неї ексергії і втрат [6, с. 56 – 57].

Основними завданнями ексергетичного аналізу є:

– оцінка всіх енергоресурсів і енергоносіїв, в т.ч. і вторинних, в межах одного технологічного процесу, цеху, підприємства, галузі;

– визначення ступеня термодинамічної досконалості технічних систем, установок, апаратів за проектними і експлуатаційними даними;

– визначення на всіх етапах перетворення і використання енергії втрат ексергії у всіх елементах систем і установок;

– термодинамічна оптимізація систем, установок і їх елементів.

Ексергетичний аналіз існуючих систем проводиться в наступній послідовності:

- розглянута система (або її частина) подумки відділяється деякої замкнутої контрольної поверхнею від інших об'єктів;
- вибираються параметри навколишнього середовища (тиск і температура), при аналізі відкритих систем необхідно знати також і склад навколишнього середовища, прийнятої для початку відліку;
- проводиться оцінка досконалості даної системи, визначається ексергетичний ККД системи і окремих її елементів, оцінюються відносні ексергетичної втрати.

Для складання ексергетичного балансу необхідно знати: технологічну схему виробничого процесу з усіма вхідними та вихідними потоками речовини та енергії, термодинамічні параметри потоків речовини і енергії, матеріальні та енергетичний баланси [6]. Для робочої системи ексергетичний баланс може бути записаний у вигляді:

$$\Sigma E_{e1} + \Sigma E_{q1} + \Sigma E_{\text{пал1}} + \Sigma E_{\text{реч1}} = \Sigma E_{e2} + \Sigma E_{q2} + \Sigma E_{\text{реч2}} + \Sigma C, \quad (3.35)$$

де  $\Sigma E_{e1}$ ,  $\Sigma E_{e2}$  – ексергія енергетичних потоків на вході і виході системи;

$\Sigma E_{q1}$ ,  $\Sigma E_{q2}$  – ексергія теплоти на вході і виході системи;

$\Sigma E_{\text{пал1}}$  – ексергія палива на вході в систему;

$\Sigma E_{\text{реч1}}$ ,  $\Sigma E_{\text{реч2}}$  – ексергія потоків речовини на вході (сировина) і виході (продукти, напівпродукти і т.д.) системи;

$\Sigma C$  – втрати ексергії в системі.

Ексергетичний ККД являє собою відношення корисно засвоєної ексергії до витраченої і визначається за формулою:

$$\eta_{\text{екс}} = E_{\text{кор}}/E_{\text{витр}} \cdot 100 = (E_{\text{витр}} - E_{\text{втр}}/E_{\text{витр}}) 100, \quad (3.36)$$

де  $\eta_{\text{екс}}$  – ексергетичний ККД, %;

$E_{\text{пол}}$  – корисно засвоєна ексергія;

$E_{\text{витр}}$  – витрачена ексергія;

$E_{\text{втр}}$  – втрати ексергії.

Умова підвищення енергетичної ефективності технологічного процесу може бути сформульовано у вигляді  $d\eta_{\text{екс}}/dt < 0$ , тобто підвищення енергоефективності відбувається при збільшенні ексергетичного ККД системи. Незважаючи на те що умова підвищення енергетичної ефективності при ексергетичній аналізі формулюється аналогічно тепловому ККД, результати ексергетичного аналізу дають відмінні результати.

При зіставленні ексергетичного ККД з тепловим ККД для деяких енерготехнологічних агрегатів – ексергетичний ККД в 1,5 – 2 рази менше (наприклад, для парогенератора  $\eta_{\text{екс}} = 46\%$ ,  $\eta_{\text{тепл}} = 90\%$ ) [5, с. 60]. Такі відносно низькі ексергетичної ККД обумовлені значними втратами при передачі тепла від палива і теплообміном.

Отже, ексергетичний аналіз дозволяє виявити основні шляхи підвищення ефективності енерготехнологічних процесів, якими є вдосконалення процесів горіння і теплообміну.

Концепція інтенсивного енергозбереження. Концепція інтенсивного енергозбереження, розроблена А. Д. Ключниковим та ін. Вона спрямована на вирішення завдань граничного енергозбереження, енергетичної ефективності, безвідходності і екологічності, інтенсивного технічного прогресу теплотехнічних установок, систем і комплексів [4, с. 39 – 41]. Послідовні етапи розробки концепції інтенсивного енергозбереження включають:

- визначення загальної енергоемності виробництва кінцевого продукту;
- формування енергетично ідеальної технології та встановлення принципово можливого рівня енергозбереження технології;
- розробку термодинамічно ідеальної моделі теплотехнологічного комплексу – еталона гранично високої принципово можливою енергетичної ефективності;
- встановлення універсальної характеристики енергетичної ефективності – інтегрального коефіцієнта корисного використання теплоенергетичних ресурсів в чинному теплотехнологічному комплексі;
- прогноз потенціалу резерву інтенсивного енергозбереження;
- розробка теплотехнічних основ і коригування енергетично ідеальної технології, формування енергозберігаючої теплотехнічне реалізованої технології;
- формування і визначення характеристик теплотехнічне ідеальної моделі в межах принципових конструктивних схем елементів теплотехнологічного комплексу.

Отже, методологія інтенсивного енергозбереження формує принципово новий підхід до оптимізації використання енергоресурсів, згідно з яким:

- повний резерв енергозбереження є цілком певна кількісна величина, яка встановлюється спільно з конкретною послідовністю технічних рішень, що дозволяє досягти принципово можливий мінімум енергоспоживання;



– алгоритм інтенсивного енергозбереження неухильно веде до створення не просто нової, але гранично ефективної техніки;

– прогрес в розробці технологічних систем в своїх граничних, але принципово допустимих формах є результатом рішення граничних задач енергозбереження.

Наскрізний енергетичний аналіз. Основними особливостями методології наскрізного енергетичного аналізу є:

– введення технологічного паливного числа, що є основною характеристикою технологічного процесу і готового виробу;

– розгляд в кожному процесі трьох форм енерговитрат, що розрізняються за технологією отримання, споживання і підходу до їх економії: первинна, похідна і прихована енергія;

– визнання рівноправності і необхідності врахування всіх видів енергоносіїв та форм споживання енергії при визначенні енергоемності готової продукції;

– послідовне наскрізне застосування технологічного паливного числа від видобутку сировини до випуску готової продукції;

– використання в якості засобу аналізу технологічних паливних чисел замість індивідуальних норм витрати палива;

– одночасне дослідження і оптимізація всіх істотних чинників, що впливають на використання енергії в технологічному процесі;

– облік енергії вторинних ресурсів по економії енергії при їх корисному використанні;

– спільне використання різних видів аналізу – енергетичних (розрахунок енерговитрат), економічних (розрахунок перенесення енерговитрат на продукцію), технологічних (розробка та перевірка варіантів технологій) і ін.;

– відшукання і першочергове вирішення проблем лімітують ланок технологічного ланцюга з метою отримання максимального ефекту.

Виділено два підходи до оцінки наскрізній енергоемності – структурована та дисипативна форми.

Структурована форма ТПЧ представляється у вигляді:

$$\text{ТПЧ} = E_1 + E_2 + E_3 - E_4, \quad (3.37)$$

де ТПЧ – технологічне паливне число;

$E_1$  – первинна енергія – хімічна енергія палива з урахуванням витрат на видобуток, підготовку і транспортування палива, визначається як сума нижчої теплоти згорання палива і ТПЧ видобутку, підготовки та транспортування палива;

$E_2$  – енергія вироблених енергоносіїв – пара, теплоенергії, електроенергії, стисненого повітря, кисню, води і т.д., визначається як сума добутоків ТПЧ відповідних енергоносіїв на їх питома витрата;

$E_3$  – прихована енергія – енергія, витрачена в процесі підготовки сировини, виробництва обладнання, інструментів і т.д., визначається як сума добутоків ТПЧ відповідних компонентів прихованої енергії на їх питома витрата;

$E_4$  – енергія вторинних ресурсів – корисно використані в даному або інших виробництвах вторинні теплові, паливні та матеріальні ресурси, визначається як сума добутоків ТПЧ відповідних вторинних енергоресурсів на їх питома вихід і на коефіцієнт їх корисного використання.

Дисипативна форма ТПЧ ґрунтується на термодинамічному аналізі та задається формулою:

$$\text{ТПЧ}_n = \Delta q_1 / \eta_1 + \sum (\Delta q_{i\varepsilon} / \eta_{i\varepsilon}) \Psi_{i\varepsilon}, \quad (3.38)$$

де  $\text{ТПЧ}_n$  – технологічне паливне число отримання кінцевого продукту в ланцюжку з  $n$  технологічних операцій;

$\Delta q$  – питома корисний витрата енергії для операції  $i$ ;

$\eta$  – паливно-енергетичний ККД для ланки  $\varepsilon$  операції  $i$ ;

$\Psi$  – узагальнений (наскрізний) видатковий коефіцієнт для операції  $i$ .

На основі представленої формули визначається ККД технологічного процесу (глобальний енергетичний ККД):

$$\eta_{GE} = \Delta q \sum n / \text{ТПЧ}_n, \quad (3.39)$$

де  $\eta_{GE}$  – глобальна енергетична ККД процесу;

$\Delta q \sum n$  – сумарна корисна питома теплота, необхідна для отримання кінцевого продукту в ланцюжку з  $n$  технологічних операцій;

$\text{ТПЧ}_n$  – технологічне паливне число отримання кінцевого продукту в ланцюжку з  $n$  технологічних операцій.

Основи енерго-екологічного аналізу. В рамках енерго-екологічного аналізу запропоновано додати в технологічну складову наскрізній енергоемності екологічну компоненту – технологічне екологічне число (ТЕЧ), як величину екологічних збитків, виражену в енергетичних одиницях. Визначення ТЕЧ може бути виконано в структурованій і дисипативній формі, основними показниками для розрахунку

яких є кількість забруднюючих компонентів, їх концентрація в продуктах згорання, агресивність забруднюючих речовин, витрата палива, коефіцієнти переведення вартісної оцінки шкоди навколишньому середовищу до оцінки в умовних енергетичних одиницях.

Енерго-екологічний аналіз дозволяє сформулювати нові підходи до підвищення екологічної ефективності технологічних процесів, основними з яких є наскрізна оцінка шкідливих викидів по всьому технологічному ланцюжку і виявлення взаємозв'язку енергетичних витрат і економічного збитку, що завдається навколишньому середовищу. Розвиток енерго-екологічного аналізу пов'язано з урахуванням викидів парникових газів в металургійному виробництві. Лісієнко В. Г. запропоновано показник технологічного парникового числа ( $T_{\text{парЧ}}$ ) – кількість кілограмів умовного палива, необхідного для погашення вартості економічного збитку від викидів парникових газів на одиницю продукції, що випускається [5, с. 23 – 24].

Результуюче значення  $T_{\text{парЧ}}$  для конкретної продукції обчислюється за значеннями  $T_{\text{парЧ}}$  попередніх переділів з урахуванням їх масових часток  $\Psi_i$ :

$$T_{\text{парЧ}} = K_b \cdot \sum (\Psi_i \cdot \Sigma \cdot \text{Mik}), \quad (3.40)$$

де Mik – фактична питома маса викидів парникових газів k-го забруднюючої речовини для i-го переділу;

$K_b$  – коефіцієнт перекладу вартісної оцінки збитку до оцінки в умовних енергетичних одиницях.

Величина  $K_b$  характеризує ступінь компенсації екологічного збитку при діючому співвідношенні цін на умовне паливо і плати підприємства за викиди парникових газів.

Аналіз екобалансу розроблено Леонтєвим Л. І. для оцінки ефективності розвитку підприємств металургійної промисловості [4, с. 87]. Під екобалансом автор розуміє сукупність показників, що оцінюють ефективність виробничого процесу (технології):

- витрачання всіх видів матеріальних і енергетичних ресурсів;
- облік викидів всіх видів в усі природні середовища і рециклінгу всіх видів продукції, що дозволяє прогнозувати наслідки процесів для навколишнього середовища і суспільства.

Особливістю аналізу екобаланс є можливість комплексної оцінки ефективності металургійного виробництва. Авторами виділено три групи показників для оцінки ефективності:

1. Показники витрати природних матеріальних ресурсів: питома витрата сировинних матеріалів, коефіцієнт скорочення суцільної природного середовища, питома витрата сировинних матеріалів для виробництва основної і попутної продукції, наскрізний коефіцієнт вилучення основного елемента, коефіцієнт потенційного техногенного накопичення елемента.

2. Показники енергозбереження: питома витрата енергоносіїв на технологічний ланцюжок, загальні витрати енергії на виробництво прокату, питома витрата на одиницю заліза прокату, енергоекологічного ефективність газоочистки, коефіцієнт наближення до ідеальної екстракції.

3. Показники викидів в навколишнє середовище: показник сумарних викидів в атмосферу ( $\text{CO}$ ,  $\text{SO}_x$ ,  $\text{NO}_x$ , пил), коефіцієнт депонування дрібнодисперсних відходів, показник накопичення техногенних ґрунтів, показник емісії парникових газів.

Розрахунок екобаланс і визначення наведених показників ефективності дозволяє вибрати найбільш вигідні технологічні схеми виробництва. Аналіз екобалансу вуглецю дозволяє відрізнити викиди  $\text{CO}_2$  від металургійних процесів. Як показник для оцінки ефективності процесів в частині викидів парникових газів запропоновано використовувати показник викидів, виражений в тоннах вуглецю на тонну заліза прокату.

### **3.15. Оцінка конкурентних позицій підприємств, діючих на оптовому енергоринку України**

© Бавико О. С.

*д.е.н., доцент, Донецький національний університет економіки і торгівлі  
ім. Михайла Туган-Барановського, м. Кривий Ріг, Україна*

© Єрмак С. О.

*к.е.н., доцент, Донецький національний університет економіки і торгівлі  
ім. Михайла Туган-Барановського, м. Кривий Ріг, Україна*

© Рябий М. М.

*провідний спеціаліст відділу інвестиційного аналізу та  
експертизи ПАТ “Донбасенерго”, м. Київ, Україна*

Створення дійсно конкурентного ринку електроенергії є важливим інструментом визначення реальних, економічно обґрунтованих цін на електроенергію для кінцевих споживачів. При реформуванні ринку електроенергії необхідна реалізація взаємопов'язаних заходів, починаючи з лібералізації ринків палива, реформування системи тепlopостачання та механізмів ціноутворення на тепло, реформування житлово-комунального господарства [1].

Основою електроенергетики України є Об'єднана енергетична система (ОЕС) України, яка здійснює централізоване електрозабезпечення споживачів, взаємодіє з енергосистемами суміжних держав, забезпечує експорт, імпорт і транзит електроенергії. ОЕС об'єднує енергогенеруючі потужності і розподільні мережі регіонів України, які з'єднані між собою системними лініями електропередачі [2].

Ринок електроенергії, що був сформований у 1996 р. і працює до теперішнього часу, функціонує по моделі “єдиного покупця” (пулу). Всі суб'єкти енергетики – ліцензіати (генеруючі компанії, розподільчі компанії, постачальники електроенергії) формують Оптовий ринок електроенергії (ОРЕ). Виконавчим органом управління ОРЕ є Рада ринку. Державне підприємство “Енергоринок” є комерційним оператором ОРЕ і тим самим “єдиним покупцем”. НЕК “Укренерго” – власник і оператор магістральних мереж класу напруги 220 кВ – 750 кВ, виконує диспетчерські функції технічного оператора ОРЕ [3].

Енергогенеруючі потужності ОРЕ умовно поділяються на 5 типів генерації:

- атомні електростанції (АЕС);
- теплові електростанції (ТЕС);
- теплові електроцентралі (ТЕЦ);
- гідро- та гідроакумуючі електростанції (ГЕС і ГАЕС);
- інші (в т.ч. з відновлюваних джерел енергії – ВДЕ).

Постачальники електроенергії ОРЕ розділені правилами ліцензування на дві великі групи – постачальники за регульованим (зафіксованим) тарифом і постачальники за нерегульованим (вільним) тарифом. Перша група – це порядку 40 компаній-монополістів на територіях, 27 енергорозподільчих компаній плюс деякі дрібні власники мереж в регіонах (підрозділи “Укрзалізниця” і т.д.). Друга група – це ліцензіати, що працюють, як і енергетична компанія “Укренергоекспорт” на всій території України.

Споживач купує електроенергію на свій вибір через постачальників електроенергії в ДП “Енергоринок”, а той, у свою чергу, замовляє і купує необхідний об'єм електроенергії у генеруючих компаній.

Фізично електроенергія вироблена генеруючими компаніями потрапляє до споживача через магістральні та розподільні електричні мережі на підставі договорів на передачу електричної енергії між відповідними суб'єктами ОРЕ [3].

Вся вироблена електроенергія тепловими електростанціями встановленою потужністю більш ніж 25 МВт продається в ДП “Енергоринок”.

Виробники електроенергії поблоково несуть навантаження, яке визначається погодинним добовим графіком навантажень. Такі графіки щоденно розробляються розпорядником системи розрахунків (РСР) згідно прогнозних графіків споживання, узгоджуються диспетчерським центром і до 16<sup>00</sup> години попередньої доби направляються кожному виробнику електроенергії. При цьому розподіл навантажень між виробниками, а також всі наступні розрахунки здійснюються за допомогою спеціального ліцензованого програмного забезпечення.

Приклад добового споживання електроенергії та забезпечення виробництва потужностями виробників зображено на рис. 3.26.

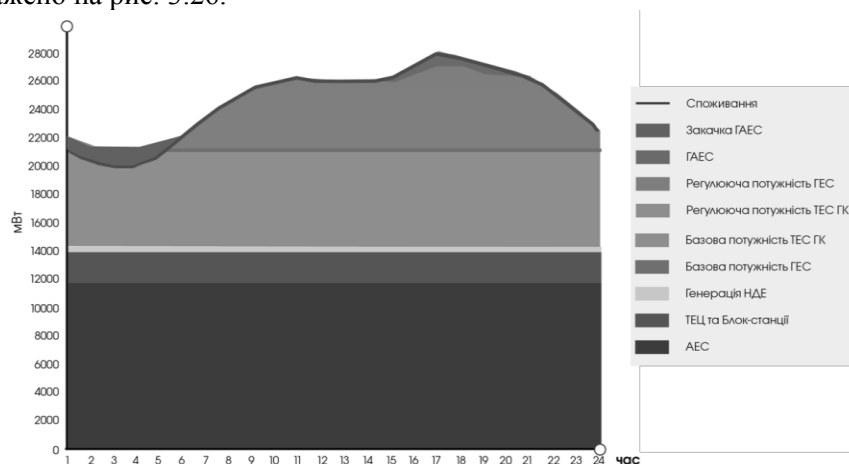


Рис. 3.26. Графік добового споживання/виробництва електроенергії

Джерело: [4]

Так, ПАТ “Донбасенерго” – одне з п’яти теплових генеруючих компаній (ГК ТЕС), прямими конкурентами якого є ПАТ “Центренерго”, та підрозділи компанії ДТЕК: “Західенерго”, “Дніпроенерго” та “Східенерго”.

Загальна кількість ТЕС, що входять до складу ОЕС і контролюються генеруючими компаніями складає 14 одиниць. Підпорядкованість ТЕС генеруючим компаніям наведена у табл. 3.25.

Виробники електроенергії розподіляються на тих, хто працює по затвердженим НКРЕКП на місяць тарифам і тих, що працюють по ціновим заявкам.

За затвердженими тарифами працюють: АЕС; ТЕЦ; ГЕС і ГАЕС; Блок-станції та інші малі виробники електроенергії. За ціновими заявками працюють: конденсаційні ТЕС; ТЕЦ, що мають блочні схеми.

Генеруючі компанії ТЕС здійснюють свою діяльність на Оптовому ринку електричної енергії на конкурентних засадах: до складу заданого графіка на планову добу вибираються блоки від найнижчої питомої вартості до найдорожчої, що бере участь в покритті максимального споживання. Погодинні ціни на електроенергію визначає найдорожчий маневрений блок. Ціни на роботу потужність і маневреність визначаються на підставі коефіцієнтів, розрахованих ДП "Енергоринок".

Загальна встановлена потужність ТЕС – 27,8 ГВт, або понад 52 % від загальної встановленої потужності енергогенеруючих об'єктів, що входять до складу ОРЕ України.

*Таблиця 3.25*

**Перелік основних конкурентів та їх порівняння за потужністю, 2015 р.**

ТЕС	Потужність, МВт	Розташування
Донбасенерго = 2980 МВт		
Старобешівська ТЕС	2100	Донецька обл.
Слов'янська ТЕС	880	Донецька обл.
ДТЕК Східенерго = 4297 МВт		
Курахівська ТЕС	1532	Донецька обл.
Зуївська ТЕС	1270	Донецька обл.
Луганська ТЕС	1495	Луганська обл.
ДТЕК Дніпроенерго = 8307 МВт		
Запорізька ТЕС	3650	Запорізька обл.
Криворізька ТЕС	2892	Дніпропетровська обл.
Придніпровська ТЕС	1765	Дніпропетровська обл.
ДТЕК Західенерго = 4664 МВт		
Бурштинська ТЕС	2334	Івано-Франківська обл.
Ладизинська ТЕС	1800	Вінницька обл.
Добровірівська ТЕС	510	Львівська обл.
Центренерго = 7600 МВт		
Вуглегірська ТЕС	3600	Донецька обл.
Зміївська ТЕС	2200	Харківська обл.
Трипільська ТЕС	1800	Київська обл.
Всього	27828	х

*Джерело: узагальнено авторами*

З даних табл. 3.25 видно, що ПАТ "Донбасенерго" серед генеруючих компаній ТЕС посідає останнє п'яте місце за критерієм встановленої електричної потужності, яка становить 2980 МВт. На першому місці – ДТЕК Дніпроенерго, до складу якої входить 3 ТЕС загальною встановленою потужністю 8307 МВт.

Зі складу ОЕС України тимчасово були виведені Старобешівська ТЕС Донбасенерго і ДТЕК Зуївська ТЕС (Постанова Кабінету Міністрів України № 263 від 07.05.2015 р. "Про особливості регулювання відносин у сфері електроенергетики на території, де органи державної влади тимчасово не здійснюють або здійснюють не в повному обсязі свої повноваження" [5], накази Міністерства енергетики та вугільної промисловості України № 273 від 08.05.2015 р. та № 339 від 05.06.2015 р. "Про затвердження переліку виробників електричної енергії" [6]), а також операції з купівлі та продажу електричної енергії на тимчасово окупованих територіях Донбасу з загального енергоринку України. Пошкодження повітряних ліній в Донбаській енергосистемі в результаті бойових дій призвело до виникнення ізольованого енергетичного вузла ДТЕК Луганської ТЕС, яка продовжує забезпечувати жителів півночі Луганської області.

Електрична енергія, що виробляється на неконтрольованій території (далі – НКТ), продається на цій території суб'єктам електроенергетики, які здійснюють діяльність з передачі електроенергії місцевими (локальними) електромережами та постачання електричної енергії за регульованим та/або споживачам електроенергії відповідної області, або іншим суб'єктам господарювання, розташованим у відповідній області, відповідно до умов багатостороннього договору, що укладається між суб'єктами електроенергетики, що здійснюють діяльність на НКТ.

Постановою № 263 передбачено, що диспетчерське (оперативно-технологічне) управління виробництвом, передачею, розподілом і постачанням електроенергії і передача електроенергії магістральними та міждержавними електричними мережами по неконтрольованій території здійснюється відокремленим підрозділом ДП НЕК “Укренерго” – Донбаською електроенергетичною системою [5].

Порядок, механізм та принципи взаємодії суб’єктів електроенергетики, що виникають у зв’язку з виробництвом, передачею, постачанням, придбанням і продажем електроенергії, порядок формування цін (тарифів), компенсації технологічних втрат електроенергії при передачі, а також розрахунків за електроенергію, послуги з передачі та постачання електроенергії, інші питання регулювання відносин у сфері електроенергетики на НКТ визначаються багатостороннім договором.

Суб’єкти електроенергетики, які одночасно здійснюють діяльність на контрольованій і неконтрольованій території, ведуть окремий бухгалтерський облік господарської діяльності на неконтрольованій і контрольованій території.

Розрахунки за електроенергію між суб’єктами електроенергетики, що здійснюють діяльність на НКТ та/або споживачами, які знаходяться на неконтрольованій території, виплата заробітної плати, закупівля палива та пально-мастильних матеріалів, здійснення інших витрат, пов’язаних із здійсненням виробничої діяльності, здійснюються в грошовій (безготівковій та готівковій) формі і будь-який інший формі, ніж грошова, не забороненої законодавством (крім виплати заробітної плати).

Розрахунки за продаж різниці перетоків електроенергії між оптовим постачальником та ПАТ “ДТЕК Донецькобленерго” і ТОВ “Луганське енергетичне об’єднання” на НКТ здійснюються в безготівковій формі через окремі поточні рахунки зазначених суб’єктів господарювання, відкриті в уповноваженому банку, і поточний рахунок із спеціальним режимом використання оптового постачальника [7].

Виробництво електроенергії в ОЕС України за 2015 р. (за виключенням об’єму електроенергії, виробленої компаніями, розташованими на території проведення АТО в окремих районах Донецької та Луганської області) склало 157,6 млрд. кВт-год., що на 10,4 млрд. кВт-год. або 5,4 % менше порівняно з показником 2014 р. і на 34,8 млрд. кВт-год. або 18,1 % менше показника 2013 р. і наведено у табл. 3.26.

*Таблиця 3.26*

**Виробництво електроенергії ОЕС України, 2013 – 2015 рр., млн. кВт-год.**

Генерація	2013 р.	2014 р.	2015 р.	2014 р. до 2013 р.		2015 р. до 2013 р.	
				абсолютне відхилення, (+ ; -)	відносне відхилення, %	абсолютне відхилення, (+ ; -)	відносне відхилення, %
АЕС	83210	88389	87626	5179	6,2	4416	5,3
ГЕС та ГАЕС	14216	9093	6810	- 5123	- 36,0	- 7406	- 52,1
ТЕЦ	7454	6538	6075	- 916	- 12,3	- 1379	- 18,5
Блок станції	8313	7789	6146	- 524	- 6,3	- 2167	- 26,1
ВДЕ (зелена енергетика)	903	1666	1590	763	84,5	687	76,2
ГК ТЕС, в т.ч.:	78298	68470	49385	- 9828	- 12,6	- 28913	- 36,9
Донбасенерго	10054	7141	4288	- 2913	- 29,0	- 5765	- 57,3
Центренерго	13824	12514	8422	- 1310	- 9,5	- 5402	- 39,1
ДТЕК Дніпроенерго	17507	16456	9964	- 1051	- 6,0	- 7543	- 43,1
ДТЕК Західенерго	17863	17229	17259	- 635	- 3,6	- 604	- 3,4
ДТЕК Східенерго	19050	15130	9451	- 3920	- 20,6	- 9599	- 50,4
Всього	192393	181945	157632	- 10449	- 5,4	- 34761	- 18,1

*Джерело: узагальнено авторами*

Отже, за 2016 р. об’єм електроенергії, виробленої ГК ТЕС склав 49,4 млрд. кВт-год., що на 9,8 млрд. кВт-год. або 12,6 % менше порівняно з показником 2014 р. і на 28,9 млрд. кВт-год. або 36,9 % менше показника 2013 р.

З урахуванням виробітку електричної енергії на НКТ Старобешівською ТЕС ПАТ “Донбасенерго” та Зуївською ТЕС ДТЕК “Східенерго” об’єм виробленої електроенергії ГК ТЕС склав 54,4 млрд. кВт-год., що на 9,8 млрд. кВт-год. (12,6 %) менше показника 2014 р. і на 23,9 млрд. кВт-год. (30,5 %) менше показника 2013 р. і наведено у табл. 3.27.

Частка виробітку електроенергії ПАТ “Донбасенерго” у структурі виробництва ГК ТЕС (серед прямих конкурентів) наведена у табл. 3.28.

З даних табл. 3.28 видно, що частка виробітку електричної енергії підприємств ГК ТЕС до загального показника генерації за 2015 р. без врахування НКТ склала 31,3 %, з врахуванням виробників на НКТ – 33,5 % проти 37,6 % – аналогічного показника за 2014 р. і 40,7 % – показника за 2013 р.

В той же час доля виробітку електроенергії ПАТ “Донбасенерго” в структурі ГК ТЕС без НКТ за 2015 р. склала 8,7 %, з урахуванням Старобешівської ТЕС, що працює на НКТ – 12,8 % і відповідає долі

підприємства за 2013 р., при тому, що в абсолютних показниках генерація ПАТ “Донбасенерго” і виробників ГК ТЕС показує зниження починаючи з 2013 р. за рахунок зниження загального виробітку електроенергії, що пояснюється зниженням рівня споживання через погіршення політичної ситуації, зниженням рівня промислового виробництва (в тому числі за рахунок припинення діяльності на підприємствах, що розташовані на тимчасово окупованих територіях Донецької та Луганської областей).

*Таблиця 3.27*

**Виробництво електроенергії ГК ТЕС (з НКТ), 2013 – 2015 рр., млн. кВт-год.**

Генерація	2013 р.	2014 р.	2015 р.	2014 р. до 2013 р.		2015 р. до 2013 р.	
				абсолютне відхилення, (+ ; -)	відносне відхилення, %	абсолютне відхилення, (+ ; -)	відносне відхилення, %
Донбасенерго, в т.ч.:	10054	7141	6946	- 2913	- 29,0	- 3108	- 30,9
ОЕС України	10054	7141	4288	- 2913	- 29,0	- 5765	- 57,3
НКТ	-	-	2657	-	-	-	-
Центренерго	13824	12514	8422	- 1310	- 9,5	- 5402	- 39,1
ДТЕК Дніпроенерго	17507	16456	9964	- 1051	- 6,0	- 7543	- 43,1
ДТЕК Західенерго	17863	17229	17259	- 635	- 3,6	- 604	- 3,4
ДТЕК Східенерго	19050	15130	11833	- 3920	- 20,6	- 7216	- 37,9
ОЕС України	19050	15130	9451	- 3920	- 20,6	- 9599	- 50,4
НКТ	-	-	2382	-	-	-	-
Всього генерація	78298	68470	54425	- 9828	- 12,6	- 23873	- 30,5

*Джерело: узагальнено авторами*

Частка виробітку електроенергії ПАТ “Донбасенерго” за 2015 р. до загального виробітку електроенергії без врахування виробництва на НКТ склала 2,7 %, із врахуванням НКТ – 4,3 % проти 3,9 % – аналогічного показника за 2014 р. та 5,2 % – показника за 2013 р.

*Таблиця 3.28*

**Частка підприємств, діючих на оптовому енергоринку в структурі ГК ТЕС, 2013 – 2015 рр., %**

Генерація	2013 р.	2014 р.	2015 р.	2014 р. до 2013 р.	2015 р. до 2013 р.
				відносне відхилення, %	відносне відхилення, %
Генерація в ОЕС України					
Донбасенерго	12,8	10,4	8,7	- 2,4	- 4,2
Центренерго	17,7	18,3	17,1	0,6	- 0,6
ДТЕК Дніпроенерго	22,4	24,0	20,2	1,7	- 2,2
ДТЕК Західенерго	22,8	25,2	34,9	2,3	12,1
ДТЕК Східенерго	24,3	22,1	19,1	- 2,2	- 5,2
Частка ГК ТЕС у загальній	40,7	37,6	31,3	- 3,1	- 9,4
Генерація в ОЕС України + НКТ					
Донбасенерго	12,8	10,4	12,8	- 2,4	- 0,1
Центренерго	17,7	18,3	15,5	0,6	- 2,2
ДТЕК Дніпроенерго	22,4	24,0	18,3	1,7	- 4,1
ДТЕК Західенерго	22,8	25,2	31,7	2,3	8,9
ДТЕК Східенерго	24,3	22,1	21,7	- 2,2	- 2,6
Частка ГК ТЕС у загальній	40,7	37,6	33,5	- 3,1	- 7,2

*Джерело: узагальнено авторами*

Діяльність ПАТ “Донбасенерго” та компаній конкурентів є публічною, а отже, звіти про фінансово-господарчу діяльність є у відкритому доступі в мережі інтернет, окрім звітності по “Східенерго” ДТЕК – компанія має форму товариства з обмеженою відповідальністю і показники її діяльності включені до складу консолідованої звітності ДТЕК.

З даних, що публікуються у річній звітності компаній можливо проведення рейтингової оцінки підприємств ГК ТЕС (окрім ТОВ “ДТЕК Східенерго”).

Метод максимімуму для рейтингової оцінки діяльності компаній обрано для порівняння, так як з перелічених підприємств важко виокремити еталонне, також підприємства мають різну кількість і встановлену потужність електростанцій і як наслідок – потенціал для генерації енергії.

Отже, показники для проведення рейтингової оцінки у більшості будуть використані не в абсолютному, а питомому значенні (у відношенні до встановленої потужності ТЕС чи інших показників).

Метод максимімуму передбачає проведення стандартизації по різним формулам для показників-стимуляторів і показників-дестимуляторів. Це пов’язано з необхідністю уніфікації тих складових, за якими ранжування здійснюється від максимального до мінімального значення, і тих, за якими воно виконується в протилежному напрямку [8].

Пул показників, що використовуємо для проведення рейтингової оцінки діяльності:

1. Встановлена потужність ТЕС складає: Донбасенерго – 2980 МВт, Центренерго – 7600 МВт, ДТЕК Дніпроенерго – 8307 МВт, ДТЕК Західенерго – 4644 МВт.

2. Коефіцієнт використання встановленої потужності (КВВП) – це відношення фактичного показника сгенерованої електричної енергії до теоретично можливого показника при роботі ТЕС на номінальній потужності (розраховується як встановлена потужність ТЕС помножена на число годин у календарному році, що рівне  $24 \cdot 365 = 8760$  год.). Показник стимулятор.

3. Питомий валовий прибуток/збиток (відношення абсолютного значення валового прибутку від операційної діяльності до кількості відпущеної до мережі електроенергії) – як показник ефективності операційної діяльності компанії. Показник стимулятор.

4. Питомий чистий прибуток/збиток (відношення абсолютного значення чистого фінансового результату до кількості відпущеної до мережі електроенергії) – як показник ефективності операційної діяльності компанії. Показник стимулятор.

5. Питомі витрати умовного палива на відпуск електричної енергії (умовне паливо – одиниця обліку органічного палива, яка використовується для зіставлення ефективності різних видів палива та їхнього сумарного обліку, теплота згоряння якого дорівнює 29,3 МДж/кг або 7000 ккал/кг). Показник дестимулятор. Розрахунок наведено у табл. 3.29.

Таблиця 3.29

Розрахунок показників для рейтингової оцінки, 2015 р.

Показник за 2015 р.	Донбасенерго	Центренерго	Дніпроенерго	Західенерго
Вихідні показники				
Встановлена потужність ТЕС, МВт	2980	7600	8307	4644
Генерація електроенергії, млн. кВт-год.	6946	8422	9964	17261
Корисний відпуск енергії, млн. кВт-год.	6216	7627	8988	15636
Валовий прибуток/збиток, млн. грн.	1369	330	- 2531	- 2192
Чистий прибуток/збиток, млн. грн.	- 190	22	- 4024	- 2433
Показники для розрахунку				
КВВП, %	26,6	12,7	13,7	42,4
Питомий валовий прибуток/збиток, грн./кВт-год.	0,22	0,04	- 0,28	- 0,14
Питомий чистий прибуток/збиток, грн./кВт-год.	- 0,03	0,00	- 0,45	- 0,16
Умовні витрати палива, г/кВт-год.	407,3	403,3	396,4	396,4

Джерело: узагальнено авторами

Розрахунок рейтингової оцінки за методом максимімуму згрупований у табл. 3.30.

Таблиця 3.30

Рейтингова оцінка енергетичних підприємств, 2015 р.

Показники	Мах	Мін	Мах-мін	Підприємства – конкуренти			
				Донбас-енерго	Центр-енерго	Дніпро-енерго	Захід-енерго
1-а група показників							
КВВП	42,4	12,7	29,8	0,47	0,00	0,03	1,00
Питомий валовий прибуток/збиток	0,22	- 0,28	0,50	1,00	0,65	0,00	0,28
Питомий чистий прибуток/збиток	0,00	- 0,45	0,45	0,93	1,00	0,00	0,65
Всього по групі	$\sum_1$			2,39	1,65	0,03	1,93
В середньому по 1-ій групі	$I_1 = \sum_1/n_1$			0,80	0,55	0,01	0,64
2-а група показників							
Умовні витрати палива	407,3	396,4	10,9	0,00	0,37	1,00	1,00
Всього по групі	$\sum_2$			0,00	0,37	1,00	1,00
В середньому по 1-ій групі	$I_2 = \sum_2/n_2$			0,00	0,37	1,00	1,00
Рейтинговий показник	$I = (I_1+I_2)/k$			0,40	0,46	0,51	0,82
Рейтинг				4	3	2	1

Джерело: розрахунки авторів

Так, перше місце серед енергетичних підприємств України займає ДТЕК “Західенерго”, ПАТ “Донбасенерго” має найнижчий рейтинг і знаходиться на останньому 4-му місці серед підприємств-конкурентів теплової генерації, за даними яких виконано оцінку.

Отже, подальший розвиток енергоринку України, а саме ПАТ “Донбасенерго” пов’язаний із підвищенням конкурентоспроможності та ефективності виробництва, нарощування обсягів відпуску електроенергії (за рахунок Слов’янської ТЕС, що розташована на території, де органи влади України здійснюють управління у повному обсязі) та мінімізації всіх складових її виробництва, зниження питомих витрат палива та приведення обладнання до європейських екологічних стандартів.

### 3.16. Інвестиційні та виробничі аспекти енергетичного контролінгу

© Дегтярьова О. О.

*к.е.н., доцент, Одеський національний економічний університет, м. Одеса, Україна*

Концепція контролінгу надає широкий набір економічних інструментів для підвищення ефективності діяльності організацій, забезпечення досягнення поставлених цілей. Енергетичний контролінг, будучи частиною контролінгового механізму підприємства, інтегрується в контрольну-аналітичну роботу всього підприємства, гарантуючи досягнення енергетичних цілей. По своїх концептуальних положеннях він забезпечує прозорість процесів і результатів у енергетичній сфері; своєчасну інформаційно-аналітичну підтримку управлінських рішень, які стосуються як поточної діяльності, так і розвитку енергетичного господарства; оптимізацію розподілу внутрішніх ресурсів компанії з метою енергоефективності й енергозбереження; узгодженість цілей і задач енергетичного напрямку на всіх рівнях управління; а також на системне, комплексне вирішення енергетичних проблем, що виникають на підприємстві.

В класичній трактовці концепції контролінгу відокремлюють стратегічний та оперативний контролінг, кожен з яких має свої власні цілі, завдання, та відповідний інструментарій. Автори, які вивчають концептуальні різновиди контролінгу, такий, наприклад, як фінансовий контролінг, також поділяють його на оперативний і стратегічний фінансовий контролінги [4, с. 31]. Енергетичний контролінг є досить новим напрямком розвитку концепції контролінгу не тільки в Україні, але й у світі, тому ще не існує однозначної думки, чи слід поділяти його на оперативний і стратегічний. Хоча є розуміння, що його завдання реалізуються як на стратегічному, так і на оперативному рівнях.

Згідно філософії контролінгу, енергетичний контролінг для досягнення своєї найбільшої ефективності має виходити за межі окремого структурного підрозділу й пронизувати всю систему прийняття управлінських рішень щодо енергетичної сфери виробництва, формуючи тим самим власний системний контур [6, с. 43]. В цьому контексті німецькі фахівці Ф. Матцен і Р. Теш відмічають, що залучення енергетичного контролінгу до довгострокових управлінських рішень в енергетичній сфері, як правило, пов’язано з інвестиційною діяльністю, а до короткострокових – з поточною діяльністю підприємства [5, с. 456]. Тому саме інвестиційні й виробничі особливості діяльності в енергетичній сфері підприємства визначають цілі, завдання та використовуваний інструментарій енергетичного контролінгу.

Інвестиційні аспекти енергетичного контролінгу напряму пов’язані з інвестиційною політикою, енергетичною стратегією та економічним потенціалом підприємства. Взагалі, реалізація рішень щодо підвищення рівня енергоефективності виробництва, енергозбереження як у виробничих процесах, так і в приміщеннях підприємства, потребує капітальних вкладень. Наскільки значними вони будуть, покажуть інвестиційні розрахунки та оцінка інвестиційних ризиків (рис. 3.27).

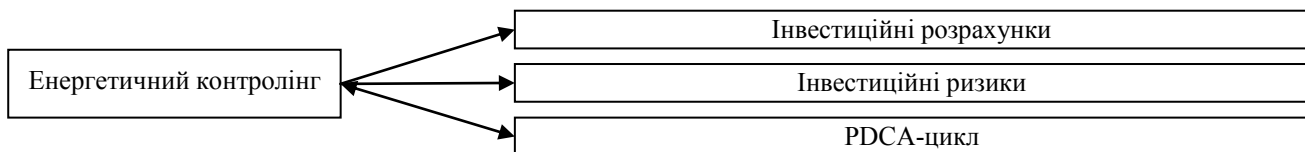


Рис. 3.27. Інвестиційні аспекти енергетичного контролінгу

*Джерело: узагальнено автором*

Інвестиційні розрахунки та обґрунтування інвестиційних рішень традиційно відносять до функції планування стратегічного контролінгу. Збільшення інвестицій в енергетичну сферу, причому не тільки в новітнє енергоефективне обладнання, але й у системи енергетичного менеджменту, специфіка інвестиційної діяльності в енергетичній сфері, соціально-економічні виклики Demand-Side-Management потребують особливої уваги, щодо підходів до розрахунку ефективності інвестиційних проектів.

Провідний фахівець консалтингової компанії EY (Ernst & Young) Ф. Й. Матцен пов’язує специфіку інвестиційної діяльності в енергетичній сфері з наступним [5, с. 462 – 464]:

1) необхідністю оцінки ефективності інвестиційних проектів через призму майбутніх енергетичних витрат та очікуваної величини енергозбереження;



2) браком інформації та досвіду інвестування в сучасні енергетичні технології, пов'язаним с постійним технологічним прогресом в енергетичній сфері і соціально-економічною обізнаністю суспільства;

3) довгостроковим характером інвестиційних проектів і складностями, пов'язаними з їхньою інтеграцією в процеси оперативного планування, розрахунку амортизаційних відрахувань, тощо.

На основі практичного досвіду та критично-аналітичного дослідження робіт з інвестиційного контролінгу і зокрема таких, які розглядали методи і вимоги до проведення інвестиційних розрахунків для проектів енергетичної спрямованості [1; 3; 5; 7] було зроблено низку висновків-рекомендацій щодо покращення якості інвестиційних розрахунків в енергетичній сфері підприємства:

- уникнення статичних методів, як вирішальних, при обґрунтуванні інвестицій;
- урахування ризиків при закладенні ставки дисконтування;
- проведення дью-ділідженс;
- пом'якшення ризиків за рахунок офіційних передумов щодо закупної ціни, гарантій, страхування, тощо;
- інтеграція інвестицій у виробничі процеси;
- поточний контроль і після завершення інвестиційного проекту з огляду на економічне та технічне просування.

Серед подібних інвестиційних проектів за їхньою економічною ефективністю більш привабливими будуть такі, що мають нижчі інвестиційні ризики.

Інвестиційні ризики при вкладенні коштів у виробничу сферу підприємства пов'язані, як правило, з можливістю втрати коштів у формі фактичних збитків або упущеної вигоди, а також з певним ступенем невизначеності результатів інвестування [1, с. 74]. Щодо інвестиційних проектів з енергоефективності, енергозбереження, переходу на нові джерела енергії, то Ф. Й. Матцен також звертає увагу на специфічні інвестиційні ризики пов'язані з “технологічною” та “виробничою” невизначеністю [5, с. 478]. Перша стосується невизначеності реалізації проекту через використану технологію, яка постійно оновлюється. Друга – залежності ефективності інвестицій від обсягів виробництва, чим вони вище, тим вище будуть інвестиційні ризики такого проекту.

Для оцінки інвестиційних ризиків вітчизняні експерти радять використовувати разом як кількісні, так і якісні методи [1, с. 77]. Західні консультанти рекомендують складати матрицю інвестиційних ризиків, а також враховувати їх у вартості капіталу вже на етапі інвестиційних розрахунків [5, с. 478 – 479].

Використання PDCA-циклу (або інакше циклу Шухарта-Демінга) в енергетичному управлінні є обов'язковою умовою Міжнародного стандарту ISO 50001:2011 “Energy management systems – Requirements with guidance for use” (“Системи енергоменеджменту – вимоги та керівництво щодо використання”) [2, с. 4], що зробило цей підхід широко застосовуваним особливо на підприємствах, які хочуть відповідати міжнародним стандартам з енергоменеджменту.

Отже, можуть розподілятися на фази планування, виконання, перевірки та покращення і інвестиційні проекти в енергоефективність, а також у виробництво й акумулювання енергії (табл. 3.31).

*Таблиця 3.31*

**PDCA-цикл в інвестиційній діяльності підприємства**

Фази PDCA-циклу	Задачі енергетичного контролінгу
Планування	Конкретизація цілей інвестування та вимог до інвестиційних проектів у енергетичну сферу організації. Розробка заходів з енергоефективності, енергозбереження, тощо. Аналіз альтернативних варіантів. Проведення інвестиційних розрахунків і оцінка ризиків. Складання інвестиційного бюджету
Виконання	Проведення дью-ділідженс. Деталізація та оцінка реалізації інвестиційних процесів. Інтеграція у виробничі процеси. Фіксування закупної ціни, інвестиційних гарантій, страхування, тощо
Перевірка	Контроль досягнення поставлених цілей (кількісних і якісних). Управлінський нагляд за обладнанням протягом життєвого циклу. Відстеження фізичного та морального зносу, амортизації встановленого обладнання. Робота над помилками, налагодження навчання
Покращення	Зіставлення інвестиційного бюджету і витрачених коштів. Розгляд альтернативних реалізацій інвестиційного проекту (заморожування, реінвестування, розширення). Регулювання реалізації інвестиційних проектів у часі. Оцінка реальних опціонів

*Джерело: узагальнено автором*

Наприкінці розгляду інвестиційних аспектів енергетичного контролінгу треба зазначити, що інвестиційні проекти з енергозбереження та енергоефективності не обмежуються лише економічною доцільністю, але й мають значущий екологічний та соціально-економічний ефект. Тому при прийнятті рішень, щодо інвестування в такі проекти, не слід покладатись тільки на розрахунки економічного ефекту, репутаційні надбання та підвищення вартості компанії коштують не менше.

Виробничі аспекти енергетичного контролінгу пов'язані з забезпеченням ефективної діяльності енергетичного господарства підприємства. У центрі його уваги – споживання енергії у всіх підрозділах підприємства та управління ним, починаючи з планування потреби в енергетичних ресурсах і всебічного аналізу каналів та джерел постачання, і закінчуючи побудовою контролінгової енергетичної інформаційної системи.

Управління енергоефективністю виробничої діяльності практично повністю регламентується Міжнародним стандартом ISO 50001:2011, який потребує обов'язкового виконання циклу Шухарта-Демінга [2, с. 4]. І тому, нарівні з загальними функціями контролінгу (такими як планування, інформаційна, контрольна-аналітична, координуюча, а останнім часом ще й консультуюча функція), енергетичний контролінг у виробничій сфері набуває ряду особливих аспектів рис. 3.28). В результаті поєднання функціонального і інструментального наповнення контролінгу з енергоменеджментом за вищезгаданим стандартом відбувається синергетичний ефект.



Рис. 3.28. Виробничі аспекти енергетичного контролінгу

*Джерело: узагальнено автором*

Моніторинг споживання енергії є найважливішою складовою управління енергетичним господарством. Оскільки практичне застосування концепції контролінгу потребує достовірної і оперативної інформаційної бази, а в енергетичній сфері відстеження оперативної інформації служить багатьом цілям (від вимірювання потреби в енергетичних ресурсах до оцінки технічного рівня обладнання і т.п.), багато західних дослідників і підприємців вважають моніторинг енергетичних процесів у сфері виробництва основою енергетичного контролінгу і, взагалі, запорукою ефективного енергетичного господарства [5, с. 508; 7, с. 255; 8, с. 499].

З технічного боку для реалізації моніторингу енергетичних процесів підприємству потрібні: вимірювальні прилади, трансмісійна техніка, конверсія сигналу та база даних [8, с. 499]. З переліченого енергетичний контролінг оперує базами даних. Група міжнародних дослідників [8, с. 500] пов'язує сучасну архітектуру баз даних, у тому числі для цілей енергетичного контролінгу, з business intelligence (BI) – штучним бізнес-інтелектом або інакше бізнесовою аналітикою, що є спрямованим на створення знань шляхом апаратно-програмного перетворення даних в оброблену та систематизовану інформацію, а потім – в знання для прийняття рішень у бізнесі.

На даний час, BI-системи поки ще не знайшли широкого розповсюдження в українських компаніях оскільки вважається, що вони неактуальні для поточного рівня розвитку автоматизації в країні. Тому для цілей моніторингу енергетичний контролінг має використовувати ті програмні рішення і бази даних, що існують на підприємстві.

Слід зазначити, що саме в енергетичній сфері моніторинг найбільш яскраво проявляється як складова контролінгу, бо не обмежується тільки вимірюванням спожитої енергії в реальному часі. За сучасними трендами в управлінні енергетичним господарством, які знайшли своє відображення також в уже згаданому стандарті ISO 50001:2011, моніторинг і аналіз споживання енергії на підприємстві доцільно пов'язувати з загальновиробничим плануванням і проводити за видами і центрами енергетичних витрат (рис. 3.29).

Система показників енергоефективності є центральною ланкою і планування, і аналізу (рис. 3.29). Взагалі сфера застосування систем показників в оперативному контролінзі вельми широка, бо втілює в життя його девіз “якщо щось не можна виміряти, то цим неможливо керувати”.

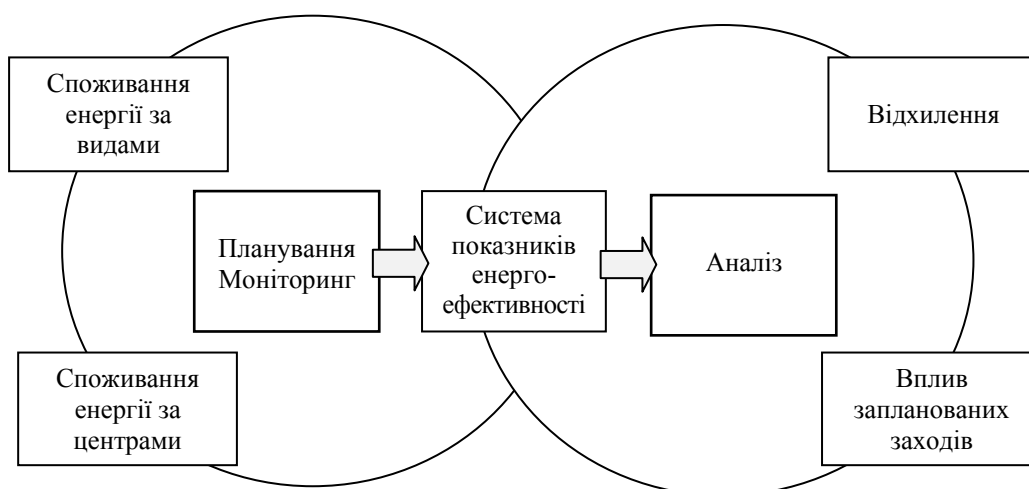


Рис. 3.29. Моніторинг і аналіз даних в енергетичному контролі

Джерело: узагальнено автором

Згідно ISO 50001:2011 для результативної роботи системи енергетичного менеджменту, яка в підсумку визначає енергоефективність підприємства, необхідно застосовувати трудові, фінансові та технологічні ресурси [2, с. 11]. З іншого боку, енергоефективність виробництва впливає на фінансові, виробничі та інші показники [7, с. 64 – 65]. Тому доцільно виразити означену взаємозалежність за допомогою збалансованої системи показників енергетичного контролінгу (рис. 3.30).

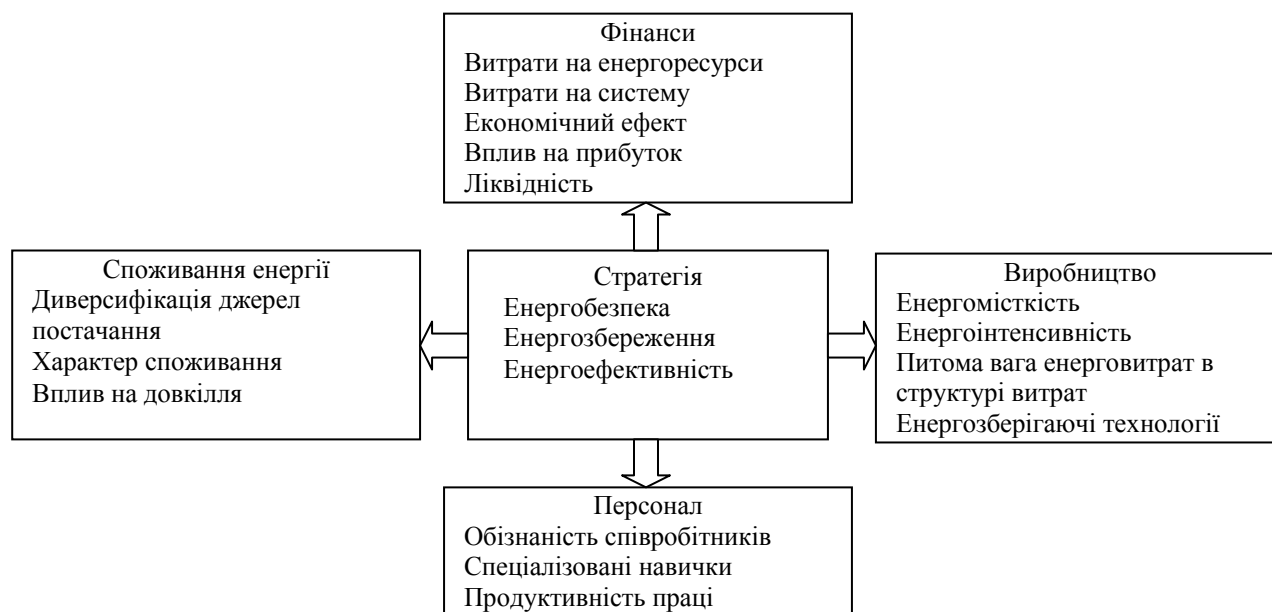


Рис. 3.30. Приклад збалансованої системи показників в енергетичному контролінзі

Джерело: узагальнено автором

В наведеному прикладі звичну для ЗСП Нортон-Каплана проекцію на маркетинг пропонується замінити складовою “споживання енергії”, що в енергосфері більш відповідає характеру відносин підприємства з зовнішнім середовищем.

Якість аналізу даних напряму пов’язана з програмними продуктами, що застосовуються та знаходить відображення в інформаційному і цифровому аспекті енергетичного контролінгу. Інформаційне та цифрове забезпечення не тільки енергетичного контролінгу, але й усіх ланок управління є необхідним атрибутом сучасного підприємства в інформаційному суспільстві. Західні фахівці бачать саме в програмно-цифровому забезпеченні потенціал і резерви виробництва, у тому числі і в енергетичній сфері [5, с. 508; 7, с. 264; 8, с. 498].

Ф. Й. Матцен вважає також, що математико-статистичні методи аналізу й прогнозування (наприклад, аналіз часових рядів, кореляційно-регресійний аналіз, теорія ігор та інші) також не будуть зайвими в обробці та аналізі енергетичних даних [4, с. 505 – 508].

Міжнародний стандарт ISO 50001:2011 не наполягає на використанні спеціальних програмних інформаційних продуктів, але його обов'язковою вимогою є безперервне документування всіх дій, заходів та динаміки обчислюваних індикаторів, пов'язаних з енергоефективністю [2, с. 15]. Тому організація звітності в енергетичному контролінзі крок в крок прямує з розвитком інформаційних систем на підприємстві.

В енергетичній сфері підприємства стикаються не тільки з інвестиційними ризиками, але й з енергетичними ризиками, тобто такими, що виникають у ході виробничої діяльності. Найбільш небезпечними є ризики, які торкаються постачання енергоресурсів, тобто впливають на енергобезпеку підприємства. До них відносяться: ризики зміни ринкової ціни на енергоносії; ризики, пов'язані з діями регулятора енергетичного ринку; політичні ризики; валютні та обмінні ризики; кредитні та платіжні ризики; ризики, пов'язані з постачальниками та посередниками; ризики обсягів постачання, тощо. Практикуючі контролери відмічають, що достатньо навіть усвідомлювати їхнє існування, щоб бути готовими пом'якшити їх [9, с. 132]. Ґрунтовний аналіз сприятиме управлінню шансами і ризиками для більш зважених управлінських рішень, а економіко-математичні моделі з урахуванням енергетичних ризиків будуть більш достовірними.

Отже, з огляду на сучасні виклики, спрямовані на підвищення енергоефективності, енергозбереження і енергобезпеки, сфера застосування енергетичного контролінгу охоплює інвестиційну і поточну виробничу діяльність. Енергетичний контролінг має за мету не замінити енергетичний менеджмент, а надати свій інструментарій і ноу-хау для вирішення специфічних задач. В їхньому поєднанні отримується синергетичний ефект на користь підприємства.

Розвиток концепції контролінгу і її поширення на енергетичну діяльність підприємства надає контролінгу нових акцентів і наповнення. Енергетичний контролінг пропонує системні рішення для досягнення енергетичних цілей, забезпечення довгострокового функціонування компанії шляхом управління енергетичними ресурсами. Тобто мова може йти про існування як стратегічного, так і оперативного енергетичного контролінгу.

### **3.17. Перспективи застосування енергетичного аудиту в аграрних підприємствах**

**© Аранчій В. І.**

*к.е.н., професор, ректор,*

*Полтавська державна аграрна академія, м. Полтава, Україна*

**© Федірець О. В.**

*к.е.н., доцент, доцент кафедри менеджменту,*

*Полтавська державна аграрна академія, м. Полтава, Україна*

Контроль – це одна з головних управлінських функцій. Контроль – це таке регулювання організаційної діяльності, коли деякі заплановані елементи виконання ставлять у визначені межі [3, с. 298]. Без цього регулювання організація не може з'ясувати, наскільки добре вона функціонує відповідно до своєї мети. У будь-який момент часу система контролю порівнює, де організація перебуває за фактичним рівнем виконання, і де вона повинна бути. Виділяють сфери контролю залежно від типів ресурсів, які використовують організації: контроль матеріальних, людських та інформаційних ресурсів і фінансовий контроль.

Зважаючи на загострення енергетичної кризи в Україні та те, що аграрне виробництво є великим споживачем енергоресурсів, останнім часом все більшого значення набуває в аграрних підприємствах складова частина контролю матеріальних ресурсів – енергетичний контроль. Останній об'єднує всі форми контрольної діяльності на підприємстві з метою забезпечення якісного аналізу та енергетичної оцінки функціонування енергосистеми.

Енергетичний контроль включає: адміністративний контроль енерговитрат, технологічний контроль енерговитрат, енергетичну ревізію (енергетичний аудит). Адміністративний контроль енерговитрат передбачає перевірку технологічних процесів на підприємстві шляхом постійного спостереження за ними з метою фіксування поточного стану енерговитрат. Технологічний контроль енерговитрат включає операційний контроль, спеціальну прийомку енергозатратної продукції, управлінський контроль використання енергоресурсів [6, с. 136].

Енергетичний аудит – це технічне інспектування енергогенерування й енергоспоживання підприємства з метою визначення можливості економії енергії і надання допомоги підприємству в здійсненні заходів, що забезпечують економію енергоресурсів на практиці. Головною метою енергетичного аудиту є обстеження організацій для виявлення ефективності енерговикористання, оцінка потенціалу енергозбереження та розробка найбільш ефективних способів його реалізації [2, с. 7].

Мета енергоаудиту – сприяння суб'єктам господарської діяльності у визначенні своєї політики з енергозбереження, рівня ефективності використання ПЕР, потенціалу енергозбереження, надання допомоги в розробці науково обґрунтованих норм та нормативів питомих витрат, енергобалансів, розробці заходів з енергозбереження, їх фінансовій оцінці та оцінці впливу на охорону праці та довкілля [1].

Серед основних завдань енергоаудиту можна назвати:

- встановлення фактичного стану енергоспоживання на підприємстві;
- визначення раціональних величин енергоспоживання при генеруванні та транспортуванні енергії, а також у виробничих процесах та установках;
- виявлення причин виникнення втрат, визначення значень втрат і резервів економії паливно-енергетичних ресурсів;
- розробку рекомендацій щодо підвищення ефективності використання паливно-енергетичних ресурсів.

Глибина вирішення поставлених завдань і обсяг необхідної для цього інформації залежать від рівня, або виду проведеного енергоаудиту. Так, можна виділити два рівні енергоаудиту:

1. Простий, або експрес-енергоаудит. Метою цього виду енергоаудиту є отримання вихідної інформації про підприємство, його технології, енергетичне господарство, енергоспоживаючі системи і установки в тому обсязі, який дозволить енергоаудиторам зробити доказовий висновок про наявність і величину потенціалу енергозбереження, про можливості зниження фінансових витрат на енергоносії, намітити основні напрямки енергозбереження на підприємстві.

Експрес-енергоаудит дозволяє оцінити необхідний рівень проведення енергоаудиту. Якщо частка фінансових витрат на енергоресурси у загальних витратах підприємства нижче 10 %, то експрес-аналіз енергоспоживання підприємством достатній для подальшої роботи. При збільшенні частки витрат на енергоресурси до 15 % необхідно проводити не лише експрес-обстеження, але й поглиблений енергоаудит, оскільки зроблені енергоаудиторами пропозиції дозволять підприємству на 3 ... 4 % знизити витрати на енергоресурси. При частці витрат більше 15 % слід терміново проводити енергоаудит, оскільки передбачувана фінансова вигода від його результатів очевидна.

Ознайомчий етап (отримання і вивчення даних статистичної звітності та технічної документації) експрес-обстеження включає збір більш докладної інформації:

- про номенклатуру продукції, що випускається і прогнозується до випуску основна і допоміжна продукція і помісячних їх обсягах;
- про тарифи і фінансові платежі за енергоресурси і їх динаміку за останні два-три роки;
- про договори з енергопостачальними організаціями;
- про помісячне споживання всіх видів енергоресурсів у цілому по підприємству і по окремих цехах (виробництвах);
- про власні джерела енергії (котельні, ТЕЦ, автономні і т.п.), про системи паро-і теплопостачання, збирання та повернення конденсату;
- про найбільш значуще паливо-, тепло-, електроспоживаюче обладнання (продуктивність, використовувані енергоносії, їх параметри, експлуатаційні дані і т.ін.);
- про установки для трансформації енергоресурсів (трансформатори, теплові насоси тощо);
- про системи обліку і контролю отриманих та спожитих ПЕР;
- про системи повітро-, холодо-, водопостачання і водовідведення.

Вся інформація, отримана з документів, є вихідним матеріалом для аналізу ефективності енерговикористання. Аналіз отриманої інформації дозволяє виявити пріоритетні, найбільш значущі енергоносії, технології, споживачів енергії, системи виробництва і розподілу енергоносіїв, що приносять найбільш значущі непродуктивні витрати енергії. При цьому обчислюється фактичне питоме енергоспоживання за окремими видами енергоресурсів та об'єктами.

Шляхом порівняння фактичного питомого енергоспоживання з базовими цифрами робиться висновок про енергоефективність використання енергії по кожному об'єкту. Базові цифри можуть бути засновані на галузевих нормах, попередніх показниках даного підприємства або споріднених зарубіжних і вітчизняних підприємств, фізичному моделюванні процесів або експертних оцінках.

Результати роботи енергоаудиторів дозволяють підприємству отримати наочну фактичну картину енергозабезпечення виробництва, експертну оцінку потенціалу енергозбереження та основні напрямки енергозбереження.

2. Поглиблений енергоаудит. Енергоаудит цього рівня передбачає більш точну оцінку потенціалу енергозбереження, розробку не тільки напрямків, але і технічних рішень щодо раціонального користування і енергозбереження, створення передумов для підготовки комплексного довгострокового плану реалізації енергозбереження на підприємстві.

Поглиблений енергоаудит на початковому етапі охоплює всі роботи, розглянуті вище по експрес-обстеженню. В якості вихідної інформації, яку зобов'язані надати співробітники підприємства, є більш розширені відомості:

- про випуск основної та додаткової продукції підприємством;
- про наявність енергетичного паспорта, організаційно-технічних заходів щодо економії енергоресурсів; про питомі витрати паливно-енергетичних ресурсів на продукцію, що випускається;
- про енергоспоживання, тарифи та фінансові витрати на енергоресурси (електроенергія, теплоенергія, паливо, вода, стиснене повітря, стиснений азот, холод);
- про облік споживання енергоресурсів;
- про джерела енергопостачання та параметрах енергоносіїв (ГПП, ТП, ТЕЦ, котельня, компресорні і холодильні установки);
- про комунікації підприємства;
- про системи опалення будівель, споруд, підприємств;
- про системи гарячого та холодного водопостачання;
- про кількість водорозбірних кранів;
- про припливно-витяжної вентиляції;
- про технологічний теплоспоживаючого, топлівопотребляющем обладнанні;
- про джерела вторинних енергетичних ресурсів (ВЕР);
- про систему збору та повернення конденсату;
- про холодильне, компресорному обладнанні;
- про встановленої потужності електроустановок за напрямками їх використання;
- про систему освітлення, електроприймача будівель, споруд тощо.

На цьому рівні для заповнення відсутньої інформації, яка необхідна для оцінки ефективності енерговикористання, але не може бути отримана з документів або викликає сумнів в достовірності, використовують інструментальне обстеження.

Для проведення інструментального обстеження повинні застосовуватися стаціонарні або спеціалізовані портативні прилади. При проведенні вимірювань слід максимально використовувати вже існуючі вузли обліку енергоресурсів на підприємстві, як комерційні, так і технічні. При інструментальному обстеженні підприємство ділиться на системи або об'єкти, які підлягають по можливості комплексному дослідженню.

Для реалізації завдань енергоаудиту слід дати кількісну та якісну оцінку стану фактичного енерговикористання всіх видів енергоресурсів і розрахунковим шляхом визначити розрахунково-нормативне споживання енергоресурсів.

Зібрана інформація дозволяє скласти принципову схему енергозабезпечення та енергоспоживання підприємства, в якій відбиваються не тільки власні витрати енергії підприємством, але і наявність сторонніх споживачів, які стоять, так і не стоять на балансі підприємства.

Для оцінки фактичного стану енерговикористання, виявлення причин та значень втрат енергоресурсів, визначення раціонального споживання енергоресурсів у виробничих процесах та установках складають енергобаланс підприємства.

Як і на етапі експрес-обстеження, розбиття енергетичного балансу підприємства за напрямками використання (технологія, опалення, вентиляція, гаряче водопостачання, загальнозаводські витрати і т.д.) дозволяє в подальшому провести більш глибокий аналіз ефективності використання енергоресурсів по кожному напрямку. Корисним виявляється розбиття за напрямками використання кожного енергоносія. Помісячні баланси показують сезонні коливання в споживанні енергії, що допомагає, як правило, відокремити споживання на опалення від технологічного та інших витрат.

Поглиблений енергоаудит характеризується, по-перше, тим, що встановлюється не тільки фактичне енергоспоживання, а й проводиться попередня оцінка необхідного енергоспоживання з урахуванням нормованих втрат енергії по всьому технологічному ланцюжку підприємства. Останнє дозволяє встановити величину наднормативних втрат, їх причини і намітити заходи для їх зменшення.

Крім зазначених видів енергоаудиту особливе місце займає так званий інструментальний аудит.

Під інструментальним аудитом (ІА) розуміють обстеження об'єкта або його частин, що виконується кваліфікованими (підготовленими, що мають дозвіл на право проведення енергетичних обстежень) незалежними фахівцями, з допомогою сертифікованих та повірених інструментів (засобів вимірювань, як правило, автономних), яке має на меті отримання достовірної інформації про споживання ресурсів, параметри стану обладнання та комунікацій об'єкта, обсяги і якість вироблених продуктів, ступінь використання відходів.

Енергоаудит виник на стику таких галузей науки, як енергетика, менеджмент, технологія виробництва. До деякої міри сюди повинна бути віднесена й екологія, особливо для тих виробництв, у яких ця складова (екологічна безпека) має велику вагу в собівартості готової продукції, або значно впливає на її якість, що ми спостерігаємо у відношенні до сільськогосподарської продукції. Якщо енергетичну ревізію здійснює відповідна служба підприємства, то енергетичний аудит проводять незалежні особи (енергоаудитори) чи фірми, уповноважені на це суб'єктами господарювання.

Проведення енергетичного аудиту базуються на національних та європейських стандартах. Серед них європейські стандарти, які набувають чинності з 1 вересня 2016 року:

ДСТУ ISO 50002:2016 (ISO 50002:2014, IDT) Енергетичні аудити. Вимоги та настанова щодо їх проведення.

ДСТУ ISO 50003:2016 (ISO 50003:2014, IDT) Системи енергетичного менеджменту. Вимоги до органів, які проводять аудит і сертифікацію систем енергетичного менеджменту.

ДСТУ ISO 50004:2016 (ISO 50004:2014, IDT) Системи енергетичного менеджменту. Настанова щодо впровадження, супровід та поліпшення системи енергетичного менеджменту.

ДСТУ ISO 50006:2016 (ISO 50006:2014, IDT) Системи енергетичного менеджменту. Вимірювання рівня досягнутої/досяжної енергоефективності з використанням базових рівнів енергоспоживання та показників енергоефективності. Загальні положення та настанова.

ДСТУ ISO 50015:2016 (ISO 50015:2014, IDT) Системи енергетичного менеджменту. Вимірювання та верифікація рівня досягнутої/досяжної енергоефективності організацій. Загальні принципи та настанова.

Так, впродовж 2010 р. спеціалізовані організації провели в Україні 205 енергетичних аудитів. Сумарний економічний ефект, який очікується в результаті проведення заходів з поліпшення використання енергетичних ресурсів за результатами цих енергетичних аудитів, складає 583 млн. грн. Більшість організацій, які провели енергоаудит, належать до бюджетної сфери, підприємств залізничного транспорту, енергогенеруючих та енергопостачальних компаній [8].

Національна база постачальників послуг енергоаудиту, енергетичного менеджменту включає 67 компаній, з них лише 46 мають міжнародні сертифікати, по 10 компаніях інформація про проведені енергоаудити відсутні [5]. Серед переліку підприємств, де проводився енергетичний аудит, є наявними 2 об'єкти сільського господарства, що свідчить про певні труднощі з проведенням енергетичного аудиту в даній галузі.

Сільське господарство як об'єкт управління характеризується особливою складністю: невизначеністю умов функціонування, недостатньою оперативністю отримання і обробки інформації, що зумовлює неоптимальність рішень, що приймаються, і, як наслідок, нераціональне енергоспоживання. Це в свою чергу впливає на тривалість та вартість проведення енергоаудиту.

Серед переліку підприємств, де проводився енергетичний аудит, сільськогосподарські відсутні. Така ситуація зумовлена наступними факторами:

- відсутність методики проведення енергоаудиту в аграрних підприємствах;
- аграрна сфера матеріального виробництва має ряд специфічних особливостей енергоспоживання, що ускладнюють проведення енергоаудиту (значна розосередженість виробництва як в часі, так і в просторі, використання живих організмів та переважно мобільних енергетичних засобів);
- частина аграрних підприємств не мають змоги оплатити послуги незалежних енергоаудиторів.

Енергетичний аудит в сільськогосподарських підприємствах спрямований на пошук можливостей енергозбереження і допомогу суб'єктам господарювання у визначенні напрямків ефективного енерговикористання та призначений для вирішення наступних завдань (рис. 3.31).

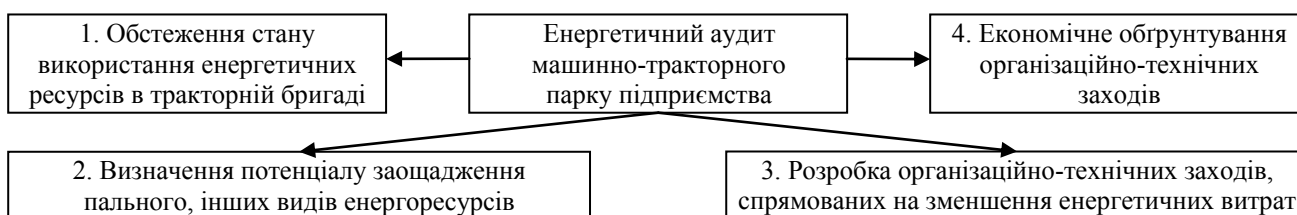


Рис. 3.31. Завдання енергетичного аудиту машинно-тракторного парку сільськогосподарських підприємств

Джерело: узагальнено авторами за даними [3]

Проведення енергоаудиту має ґрунтується на двох основних правилах: енергоаудит не повинен зводитися до простої фіксації помилок; енергетичні аудити не повинні проводитися таємно.

Машинно-тракторний парк сільськогосподарського підприємства є основним споживачем енергетичних ресурсів, тому проведення енергетичного аудиту саме тут є доволі актуальним. Енергоаудит тракторної бригади полягає у виконанні шести послідовних етапів (рис. 3.32).

На етапі збору інформації проводять наступні дії:

- визначення об'єктів дослідження і часу його проведення (наприклад, використання пального тракторною бригадою під час комплексу весняно-польових робіт);
- характеристика машин і агрегатів, які споживають енергоресурси (збирання первинних даних про споживання палива за попередній і поточний роки);
- класифікація енергоресурсів по видах (бензин, дизельне паливо, електроенергія, природний газ тощо), аналіз структури енергоспоживання;

- визначення обсягів споживання кожного виду енергоресурсів та їх вартості (аналіз витрат на енергію, визначення витрат енергоносіїв на одиницю продукції, що виробляється, по підприємству і окремим підрозділам);
- заміри (тракторист, заправник, майстер-наладчик чи енергоаудитор).

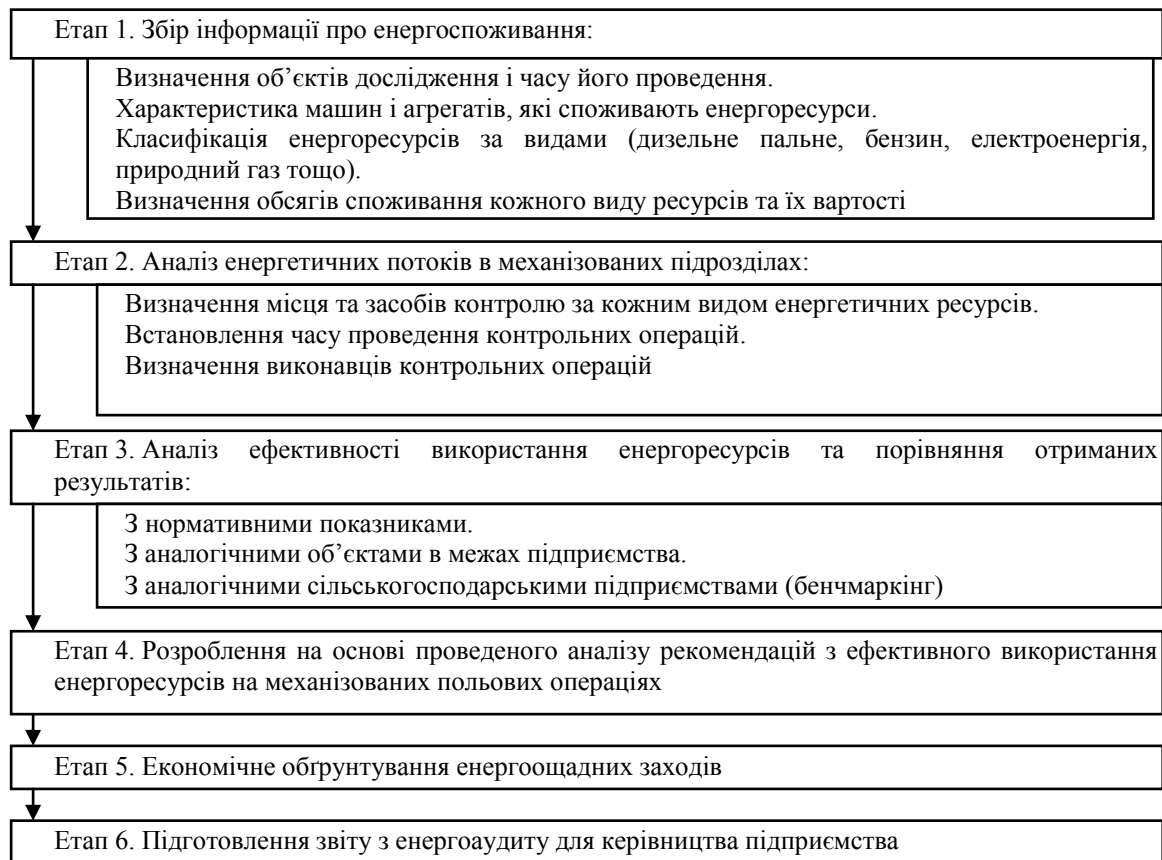


Рис. 3.32. Етапи проведення енергетичного аудиту  
машинно-тракторного парку сільськогосподарських підприємств

*Джерело: узагальнено авторами за даними [3]*

Другий етап – обстеження енергетичних потоків на об'єкті – полягає у пошуку відповідей на наступні питання:

а) “де?” – визначення місця та засобів контролю по кожному виду енергетичних ресурсів (контроль в місцях заправки машинно-тракторних агрегатів паливом в польових умовах, чи на стаціонарних заправних установках; при цьому застосовуються мірні лінійки та ємності, спеціальні механічні та електронні пристрої);

б) “коли?” – визначення часу проведення контрольних замірів (під час заправки машинно-тракторних агрегатів паливом, виконання агротехнічних операцій, проведення технічного обслуговування і ремонтів тощо);

в) “хто?” – визначення виконавців, хто здійснюватиме контрольні

Послідовність застосування інструментарію для проведення енергетичного аудиту машинно-тракторного парку аграрних підприємств наступна [7]:

- визначаємо витрати енергоресурсів по кожній агротехнічній операції, що виконується машинно-тракторним парком, при цьому розподіляємо їх на польові, транспортні та інші;
- підсумовуємо витрати енергоресурсів по всіх агротехнічних операціях;
- визначаємо витрати енергоресурсів по окремих культурах, що вирощуються в підприємстві;
- підсумовуємо витрати енергоресурсів по всіх культурах, що вирощуються в підприємстві;
- визначаємо витрати енергоресурсів по кожному трактору;
- підсумовуємо витрати енергоресурсів по всіх тракторах;
- визначаємо витрати енергоресурсів по кожному механізатору;
- підсумовуємо витрати енергоресурсів по всіх механізаторах.

В підсумкових таблицях порівнюємо витрати енергоресурсів між собою з метою визначення найенергоємніших споживачів.



Наступним кроком є складання балансів енергоресурсів, спочатку складається баланси по кожному виду енергетичних ресурсів (бензин, дизельне паливо, електроенергія), потім складається загальний баланс по підрозділу і по підприємству вцілому по всіх видах енергоресурсів в умовному паливі. При цьому доцільно складання енергетичного балансу щодо окремих енергоємних споживачів.

Третій етап – аналіз ефективності використання енергоресурсів, який здійснюється на основі отриманої інформації. При цьому отримані результати потрібно порівняти з: нормативними показниками; аналогічними об'єктами в межах підприємства при їх наявності; з аналогічними об'єктами інших підприємств.

Також доцільно порівняти витрати пального машинно-тракторними агрегатами на однакових агротехнічних операціях з іншими марками технічних засобів та агрегатів.

Четвертий етап полягає у розробленні рекомендацій з ефективного використання енергоресурсів на основі проведеного аналізу. Рекомендації доцільно класифікувати з огляду на рівень затрат щодо їх впровадження:

- невитратні (оптимізація режимів роботи машинно-тракторних агрегатів, скорочення втрат пального при заправці тощо);

- маловитратні (оптимізація складу машинно-тракторних агрегатів, удосконалення технічного обслуговування);

- середньовитратні (зміна оранки безвідвальним обробітком ґрунту, при цьому необхідне придбання відповідних ґрунтообробних знарядь з використанням наявних в підприємстві енергетичних засобів);

- високовитратні (придбання нової енергоощадної техніки).

Кожна рекомендація з енергозбереження повинна бути описана за наступними пунктами:

- необхідні зміни: модифікація обладнання; заміна обладнання; модернізація обладнання (систем управління); технічне обслуговування обладнання; нова процедура управління;

- вплив змін на заощадження енергії та коштів: скорочення втрат; скорочення зайвих операцій, підвищення ефективності використання енергії, застосування дешевших енергетичних ресурсів;

- фінансові витрати і вигоди: капітальні витрати; амортизація обладнання підприємства; витрати на технічне обслуговування; енергетичні витрати; аналіз ефективності фінансових витрат.

П'ятий етап – економічне обґрунтування запропонованих рекомендацій. При цьому вихідні вартісні показники є основою для розрахунку ефективності запропонованих рекомендацій. Порядок економічної оцінки запропонованих рекомендацій наступний: оцінка інвестиційних затрат; розрахунок річного потенціалу енергозбереження при реалізації проекту; визначення економії поточних витрат (приросту прибутку); визначення доходу від інвестицій; розрахунок економічного ефекту запропонованих рекомендацій.

Шостий етап – підготовка звіту з енергоаудиту, який є поданням аудиторської інформації в єдиному рекомендаційному документі поряд з даними про енергетичні і фінансові видатки та заощадження (рис. 3.33).



Рис. 3.33. Схема звіту з енергетичного аудиту машинно-тракторного парку

Джерело: узагальнено авторами за даними [5, с. 119]

Звіт з енергетичного аудиту по можливості повинен бути коротким і конкретним. Матеріали обстежень доцільно подавати у додатках. При складанні звіту з енергоаудиту по сільськогосподарських підприємствах доцільно у вигляді окремого підрозділу провести аналіз впливу рекомендованих заходів на стан навколишнього середовища.

Проведення енергетичного аудиту в аграрних підприємствах є перспективним напрямком заощадження енергоресурсів і зменшення енергомісткості виробництва аграрної продукції.

Отже, організація ефективної системи контролю за використанням енергетичних ресурсів в аграрних підприємствах дозволяє вчасно визначити можливі напрямки втрат енергетичних ресурсів, та розробити ефективні заходи по їх усуненню. Важливого значення в даний час набуває застосування енергетичного аудиту в аграрних підприємствах як ефективного засобу зовнішнього контролю за використанням енергетичних ресурсів.

**3.18. Ефективність провадження енергоефективних заходів в аспекті техніко-економічного оцінювання**

© Сердюк В. Р.

*д.т.н., професор, професор кафедри інженерних систем у будівництві,  
Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, Україна*

© Франишина С. Ю.

*здобувач наукового ступеня доктора філософії,  
Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, Україна*

В умовах підвищення цін та тарифів на енергетичні ресурси, більшість господарюючих суб'єктів здійснюють переорієнтацію свого енергетичного господарства, намагаючись знизити свою залежність від дорогих енергоносіїв. Проте в умовах функціонування українського бізнесу процеси, пов'язані із реалізацією енергозбереження та підвищення рівня енергетичної ефективності, відбуваються без будь-якої державної підтримки. За офіційними статистичними даними, найбільш поширеним джерелом фінансування заходів в основний капітал на вітчизняних підприємствах залишаються власні кошти (прибуток, амортизаційні відрахування) – 65 % від загального обсягу інвестиційних ресурсів. А надалі ситуація ускладнюється тим, що близько 48 % промислових вітчизняних підприємств функціонують із негативним фінансовим результатом, що практично унеможливило рефінансування технічного розвитку власного виробництва, ступінь зносу основного обладнання на яких перевищує 76 % [1, с. 248].

Такі явища дуже гостро суперечать світовому досвіду державної підтримки, активізації процесів енергозбереження та методів забезпечення енергетичної ефективності промислового сектору. Державна політика, що характерна більшості розвинених країн, підтверджує необхідність застосування стимулювання та мотивації. Так, в цих країнах одночасно із податковим стимулюванням здійснюється масштабна інвестиційно-кредитна підтримка внутрішнього виробника за рахунок надання дешевих державних позик і проведення політики дешевих і доступних комерційних кредитів [2, с. 8].

Євроінтеграційні процеси економіки України створюють передумови та визначають необхідність ощадливого споживання паливно-енергетичних ресурсів. Запровадження зони вільної торгівлі між Україною та ЄС з 01.01.2016 р. вимагає від вітчизняного виробника якісно нового підходу до ведення господарської діяльності, рівня організації виробничих відносин та зміни відношення до використання ресурсів в напрямку підвищення їх раціонального та ощадливого споживання. І навіть за умови відсутності експортноорієнтованої маркетингової стратегії в діяльності окремого підприємства, необхідність якісного коригування зумовлено адаптацією та гармонізацією сфери технічного регулювання національного законодавства зі стандартами ЄС [3, с. 85].

Технічно-можливий ресурс, з яким український виробник впливається в європейський, а отже і світовий економічний простір, вимірюється сьогодні значним розривом та суттєвим технологічним відставанням. А тому і потенціал підвищення енергетичної ефективності, використання вторинних енергетичних ресурсів, альтернативних та відновлювальних джерел на вітчизняних підприємствах – колосальний. Ефективність проведення заходів, пов'язаних із технічним переоснащенням, модернізацією, оновленням основного парку обладнання на об'єкті здійснюється з урахуванням мультиплікативного ефекту, сформованого в напрямку покращення екологічного, технічного, енергетичного та економічного рівнів господарювання.

Проблематика енергозбереження найбільш важливим чином стосується реалізації основних напрямків зниження енергетичних витрат на виконання основних технологічних процесів, робіт, операцій. Для цього на кожному рівні управління необхідно мати відповідну інформацію про можливі резерви на усіх ланках виробництва, зокрема дані, що стосуються роботи та енергетичної потреби устаткування, агрегатів, технологічних ланок, окремих технологічних операцій.

Вивчення та детальний аналіз технологічної схеми виробництва основної продукції на підприємстві із деталізацією процесів та операцій за окремими структурними підрозділами, переліком обладнання, машин, механізмів, дозволить провести комплексну діагностику рівня енергетичної ефективності, визначити основних споживачів за окремими видами паливно-енергетичних ресурсів.

На досліджуваному підприємстві з виробництва залізобетонної продукції визначались напрямки розробки заходів підвищення енергетичної ефективності та реалізації енергозберігаючої діяльності. Відповідно на початковому етапі діагностування, встановлено основні види енергетичних ресурсів, що забезпечують виробничо-технологічний процес на об'єкті. На основі даних звітності, журналів обліку, відомостей оперативного контролю споживання паливно-енергетичних ресурсів за окремими структурними підрозділами визначено структурних споживачів з найбільшим обсягом використання окремих видів паливно-енергетичних ресурсів (рис. 3.34).

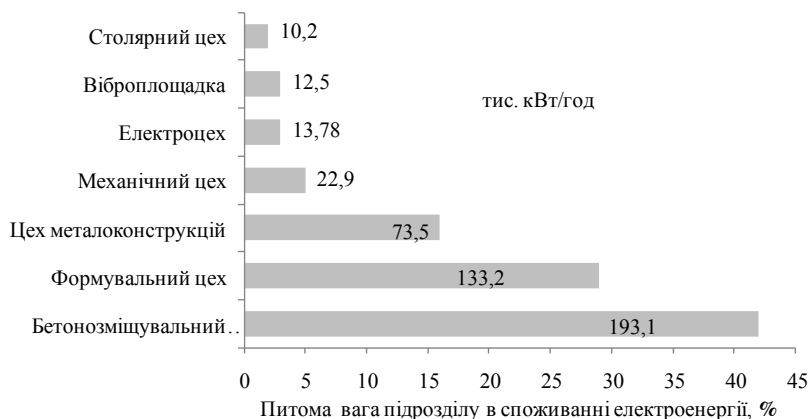


Рис. 3.34. Річне споживання електроенергії окремими структурними підрозділами залізобетонного виробництва, 2018 р.

Джерело: розрахунки авторів

За даними рис. 3.34 встановлено, що найбільший обсяг споживання електроенергії припадає на бетонозмішувальний вузол близько 193,1 тис. кВт-год., або майже 42 % річного загальновиробничого споживання. Детальний аналіз технологічної схеми приготування бетонних сумішей та розчинів, експлуатаційних особливостей роботи енергогенеруючого обладнання, режимів завантаження із зазначенням встановленої потужності дозволив визначити основних споживачів електричної енергії даним структурним підрозділом. У результаті аналізу здійснено ранжування основних об'єктів енергетичного господарства за встановленою потужністю (табл. 3.32). Деталізація укомплектованості окремого структурного підрозділу дозволить реалізувати об'єктний підхід до управління енергетичною ефективністю.

Таблиця 3.32

**Перелік обладнання та характеристика встановленої потужності бетонозмішувального вузла, 2018 р.**

Перелік обладнання	Характеристика		Загальна потужність, кВт
	Встановлена потужність, кВт	Кількість, одн.	
Повітряні компресори	132	1	132
Транспортери, в т. ч.:			
підземна галерея	30	1	130
проміжна галерея	35	1	
перехідна галерея	30	1	
наклонна галерея	35	1	
Бетонозмішувачі примусової дії	32	4	128
Пневмоциліндри на затворках	7,5	4	30
Водяні насоси	10	3	30
Система аспірації, фільтрації	15	2	30
Шнеки подачі мінерального в'язучого	20	2	40
Вагові дозатори інертних наповнювачів та мінерального в'язучого	1,1	2	2,2

Джерело: розрахунки авторів

Як відомо, найбільш енергоємною виробничою системою, що характеризується високим рівнем споживання стисненого повітря є компресорні установки та станції. Процес стиснення повітря супроводжується значним виділенням тепла.

Підприємства з виробництва залізобетонної продукції для транспортування та подачі мінерального в'язучого та інертних матеріалів використовують потужні повітряні компресори, що виявляються чи не найбільшими споживачами електроенергії бетонозмішувального вузла на підприємстві. Коефіцієнт корисної дії самого технологічного процесу виробництва стисненого повітря не перевищує 40 %. Більше того, виробництво стисненого повітря характеризується низькою ефективністю, так як лише близько 15 % корисної енергії залишається в стисненому повітрі, а решта теплової енергії фактично втрачається та надходить в навколишнє середовище [4]. Тому корисне використання теплової енергії, згенерованої внаслідок охолодження мастильного матеріалу роботи компресора один із основних напрямків використання вторинних енергетичних ресурсів.

Компресор потужністю 132 кВт та продуктивністю 0,45 м<sup>3</sup>/с стисненого повітря продукує втрати теплової енергії, що можуть бути корисно використані на потреби підприємства. Тому на

досліджуваному об'єкті проведені роботи, пов'язані з удосконаленням системи виробництва стисненого повітря шляхом встановлення системи рекуперації теплової енергії (рис. 3.35). Наразі підприємство використовує компресорну установку із рекуператором для акумуляції теплоти масла для потреб гарячого водопостачання та частково на опалення цеху.

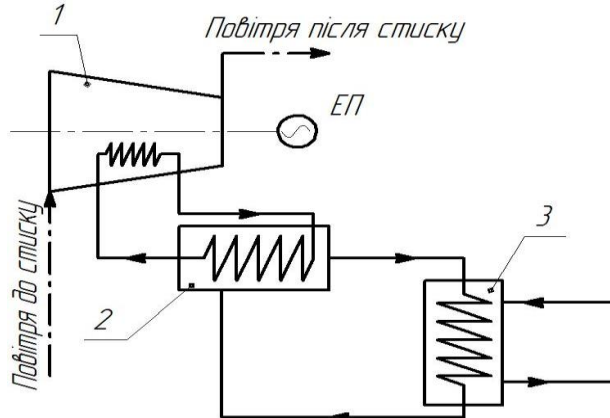


Рис. 3.35. Принципова теплова схема роботи компресорної установки з рекуператором:

1 – компресор; 2 – рекуператор; 3 – нагрівник

Джерело: авторська розробка

Постає завдання комплексної оцінки основних показників ефективності удосконаленої компресорної установки, розрахунку ККД такої установки, обсягу корисно утилізованої енергії та економічної ефективності від такого впровадження. Оцінці підлягають технічний, енергетичний, екологічний ефекти, що безумовно матимуть місце, але й показники економічної ефективності, що актуально та необхідно в умовах обмеженості фінансових ресурсів, особливо за умови потреби в зовнішньому фінансуванні.

Технічний, як і енергетичний ефекти від модернізації системи охолодження масла компресорної установки, базуються на розв'язанні математичної задачі, із формуванням відповідної математичної моделі, як інструменту вибору оптимального напрямку інвестування та прийняття управлінських рішень в поліваріантному середовищі.

Розрахунок ККД компресорної установки можна здійснити на основі підбору параметрів та показників роботи її складових компонентів [5, с. 231; 6, с. 66 – 69; 7, с. 4], зокрема:

– масова витрата повітря, кг/с:

$$G_n = V_n \cdot \rho, \quad (3.41)$$

де  $V_n$  – продуктивність компресора  $\text{м}^3/\text{с}$ ;

$\rho$  – густина повітря  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;

– питома робота компресора,  $\text{кДж}/\text{кг}$ :

$$l = \frac{n \cdot R \cdot T_1}{(n-1) \left( 1 - \lambda \frac{(n-1)}{n} \right)}, \quad (3.42)$$

де  $n$  – показник політропи;

$R$  – газова стала повітря,  $\text{кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$ ;

$T_1$  – абсолютна температура повітря на вході в компресор,  $\text{К}$ ;

$\lambda$  – міра підвищення тиску;

– потужність, затрачена на стиск повітря,  $\text{кВт}$ :

$$L = l \cdot G_n, \quad (3.43)$$

– ККД компресора:

$$\eta = \frac{L}{N_e}, \quad (3.44)$$

де  $N_e$  – встановлена потужність компресора  $\text{кВт}$ ;

– ККД компресорної установки:

$$\eta_{ky} = \frac{L + \sum Q_n}{N_e}, \quad (3.45)$$

де  $\sum Q_n$  – загальна потужність нагрівника  $\text{кВт}$ ;

– обсяг економії енергетичного ресурсу, м<sup>3</sup>/с:

$$E_n = \frac{\sum Q_n}{Q_i^p \cdot \eta_{ei}}, \quad (3.46)$$

де  $Q_i^p$  – для природного газу прийнято на рівні 30 МДж/м<sup>3</sup>;

$\eta_{ei}$  – коефіцієнт корисної дії газового котла визначено на рівні 0,9.

За експериментальними даними та результатами вимірювань отримана загальна потужність нагрівника  $\Sigma Q_n$ , що складає 11,2 кВт.

Результати енергетичних, технічних розрахунків роботи компресорної установки з урахуванням показників економічної ефективності інвестиційних витрат [8, с. 83 – 92] наведено у табл. 3.33. Безумовно, на обсяг зрекуперованої теплової енергії впливає низка показників, таких як виробнича завантаженість підприємства і, як наслідок, час корисної роботи компресорної установки, режим експлуатації тощо.

Таблиця 3.33

**Техніко-економічні показники ефективності рекуперації теплової енергії компресорної установки, 2018 р.**

Показник	Значення
Масова витрата повітря, кг/с	0,54
Питома робота компресора, кДж/кг	– 118,6
Потужність, затрачена на стиск повітря, кВт	64,31
ККД компресора	0,49
ККД компресорної установки	0,57
Обсяг економії енергетичного ресурсу внаслідок рекуперації, м <sup>3</sup> /с	0,00042
Річний обсяг економії природного газу, м <sup>3</sup>	1995,84
Обсяг річна економії (вартість природного газу прийнято на рівні 10757,52 грн/тис. м <sup>3</sup> , для промислових споживачів від 01.03.2018 р.), грн	21475,24
Простий термін окупності (інвестиційні витрати 185 тис. грн), роки	8,6
Індекс прибутковості	0,12

*Джерело: розрахунки авторів*

Вивчення режиму роботи компресорної установки дозволило встановити середню тривалість її роботи на рівні 5 год. на добу. Наразі підприємству вдається корисно утилізувати лише близько 10 % тепла, проте резервні можливості оцінюються на рівні 40 %. Більшість із цих факторів негативно вплинули на термін окупності інвестиційних вкладень та індекс прибутковості проведених заходів.

Важливим складовим елементом комплексної оцінки ефективності споживання паливно-енергетичних ресурсів на підприємстві є зниження екологічного навантаження та теплового забруднення довкілля внаслідок корисної утилізації теплової енергії. Зменшення викидів парникових газів від скорочення обсягів споживання 1 тис. м<sup>3</sup> природного газу становить: оксиду азоту – на 2,5 кг, оксиду вуглецю – на 8 кг [9; 10].

Цілеспрямовано організувати ефективну експлуатацію основного виробничого обладнання з метою виявлення резервів можливої економії енергетичних ресурсів на підприємстві – важлива задача стратегічного управління. Проте, організація процесів підвищення енергетичної ефективності в реальних умовах господарювання не проста практична задача. Підприємства функціонують за умови відкритої системи, де процеси відбуваються під впливом цілої сукупності як внутрішніх, так і зовнішніх факторів, тож отримані результати впровадження енергозберігаючого проекту можуть мати значні відхилення від очікуваних, та тих, що відбуваються в закритих системах за умов ідеальної роботи енергетичного обладнання.

Неналежна якість менеджменту та інвестиційного планування, брак достатнього практичного досвіду в реалізації проектів з енергозбереження в інженерно-технічного персоналу виробничих підприємств, відсутність повного та детального розрахунку техніко-економічних показників, проектно-конструкторських рішень – фактори, що негативно впливають на результативність впроваджуваних заходів.

Відсутність механізмів державної підтримки та інструментів стимулювання активізації процесів підвищення енергетичної ефективності вітчизняного промислового товаровиробника фактично паралізує інвестиційну активність та блокує стратегічну спрямованість фінансового ресурсу в енергоощадність, комплексну технічну модернізацію та технологічне переоснащення реального сектору економіки. Натомість агресивна цінова та тарифна політика на енергоносії хоча і має певний вплив на стимулювання енергозбереження, сприяє зростанню частки тіньового виробництва, збільшенню кількості підприємств, що втрачають конкурентоспроможність в таких умовах.

**3.19. Використання енергозберігаючих технологій як механізм підвищення рівня економічної безпеки в сільськогосподарських підприємствах**

© Максимюк М. М.

*здобувач наукового ступеня доктора філософії,  
ДВНЗ “Прикарпатський національний університет ім. Василя Стефаника”*

У сільській місцевості на початок 2017 р. проживала майже третина загальної кількості населення. Для більшості сіл сільськогосподарські підприємства є основним джерелом робочих місць та соціального відтворення. Варто зважити і на відрахування в бюджети та значення галузі для соціальної та пенсійної сфери – кожен новий безробітний це додаткове навантаження на них і послаблюють економіку країни в цілому. Аналогічний механізм взаємовпливу стосуватиметься і інших суміжних галузей – переробної (сюди відносимо всіх суб'єктів що здійснюють подальшу переробку продукції сільськогосподарських підприємств), хімічної (виробництво добрив, переробка сировини, постачання тари і упаковки та ін.), машинобудування (виробництво, ремонт і обслуговування техніки, деталей та крупних агрегатів), транспорту (забезпечення товарообігу всередині країни, наявність експорту що суттєво впливає на вартість міжнародних перевезень та ін.). За дев'ять місяців 2017 р. Україна експортувала сільськогосподарської продукції на 13,07 млрд. дол. США (41,7 % від загального експорту України), що на 24,3 % перевищує показник за аналогічний період 2016 р. [13]. Такі суттєві показники динаміки (яка може мати і негативне значення) є наслідком специфіки діяльності сільськогосподарських підприємств, що потребує налагодження механізму багаторівневої адаптації до ринкових та природно-кліматичних умов.

О. І. Павлов вважає, що реальна ситуація з станом сільськогосподарської сфери та агровиробництвом в цілому потребує розгляду в контексті безпечного розвитку й потребує “створення умов для динамічного розвитку агропродовольчої сфери як складної природної та соціально-економічної системи” [10, с. 97]. На тлі кризових явищ у економіці та посилення глобальної нестабільності на всіх ринках ключового значення набуває забезпеченість сировинними, зокрема паливно-енергетичними ресурсами, спроможність підтримувати стабільне функціонування та розвиток національних економік незалежно від дисбалансуючих та деструктивних впливів глобального ринку [11].

Підвищена ризикованість у галузі сільського господарства пов'язана із сезонністю, суттєвим використанням природних ресурсів, низькою еластичністю попиту на сільськогосподарську продукцію та її здатністю швидко псуватися, природно-кліматичними чинниками та використанням землі як основного засобу виробництва. Постійне існування різного роду загроз обумовлює актуальність проблеми економічної безпеки сільськогосподарських підприємств зокрема та визначення виключної компетенції цього поняття та подальшого практичного використання результатів відповідних досліджень. Ведення діяльності при вищезазначених умовах невизначеності та значної залежності від зовнішніх факторів потребує стратегічних напрямків розвитку та в першу чергу стабілізації та зменшення залежності від виключних чинників. Важливо, що в умовах зростання інтенсифікації виробництва стратегічно необхідним є комплексний та довгостроковий підхід до управління використанням всіх ресурсів підприємств. Так, наприклад, невміле і недалекоглядне використання землі є не меншою загрозою для землі ніж її “простій” та запускання. При цьому саме земельні ресурси є основою сільськогосподарського виробництва і джерелом його розвитку та економічної безпеки.

Економічна безпека сільськогосподарських підприємств у широкому розумінні є ще й критерієм надійності їх партнерства у бізнесі та спроможності забезпечувати переробні підприємства сировиною, а населення – продуктами харчування [7]. Загрози діяльності підприємств – це дія дестабілізуючих природних чинників і/або суб'єктивних, пов'язаних з недобросовісною конкуренцією та порушенням законів і норм, що може спричинити потенційні або реальні ризики та втрати для організації [5, с. 16]. Сільськогосподарське виробництво є одним із найбільш ризикованих видів підприємницької діяльності, що виражається в значному переліку загроз та ризиків, притаманних даному виду діяльності. Джерелами ризиків в сільськогосподарському виробництві є соціально-економічне середовище, природо-кліматичні умови та людський фактор. Особливо великих ризиків зазнає сільськогосподарське виробництво країн, економіки яких розвиваються або перебувають в процесі трансформації, адже тривалий період часу доступність відносно дешевої сировини (в першу чергу енергетичної) дозволяла окремим галузям (в тому числі і сільському господарству) підтримувати високий рівень виручки і прийнятні темпи економічного зростання. Погіршення кон'юнктури через збільшення вартості енергоресурсів змусило повернутися до питання щодо адекватності та відповідності механізму такого зростання сучасним ринковим умовам. “Період екстенсивного розвитку не був у повній мірі використаний для структурної перебудови економіки, незбалансованість та надмірна енергоємність якої посилювала інерційний характер ПЕК та унеможливила проведення необхідних у ньому реформ. У свою чергу, в самому енергетичному комплексі існуючі диспропорції стримували трансформацію структури споживання” [11].

Сьогодні одним з найпоширеніших методів підвищення конкурентоспроможності стає зниження енергоємності виробництва, або ж зростання його енергоефективності. Але основною проблемою, що гальмує такий потужний механізм розвитку є те, що “не сформовані відповідні механізми енергоменеджменту, відсутні цілісні підходи до цього складного процесу. Тим часом, прийнятний рівень енергоефективності може досягатися тільки в процесі системної організаційно-управлінської діяльності, спрямованої на аналіз, моніторинг і планування поведінки підприємства щодо використаних енергоресурсів, включаючи їх вибір, оцінку коефіцієнта їх використання, екологічності, процес мотивації зростання енергоефективності та ін.” [8, с. 11].

Прогрес людського суспільства характеризується зростанням виробництва, яке протягом останнього століття нерозривно зв'язане з споживанням енергії. Постійна боротьба людства за збільшення свого енергетичного багатства у XXI ст. має основним інструментом енергозберігаючі технології, які можуть застосовуватись у всіх видах та напрямках діяльності.

Варто визначити що саме являють собою енергозберігаючі технології з точки зору економічної організації роботи сільськогосподарського підприємства, які переваги і недоліки вони мають. З точки зору доходів підприємства застосування енергозберігаючих технологій може мати 2 наслідки, а саме відсутність прямого впливу (варіант 1) або зростання доходів (варіант 2). З точки зору витрат ситуація не така однозначна, адже можливий дещо ширший ряд можливих сценаріїв:

- одноразове (або не повторюване) зростання витрат, напряму пов'язане з впровадженням нових технологій (варіант 3);
- супутні витрати, що виникають при впровадженні ЕЗТ та не пов'язані напряму з ЕЗТ (наприклад вимушені простої виробництва, пошук нових постачальників чи навчання працівників, тощо) (варіант 4);
- зменшення змінних витрат, або збільшення виробництва (результатів господарської діяльності) в абсолютних одиницях – зростання кількості чи зменшення собівартості внаслідок більш ефективного використання ресурсів підприємства (варіант 5);
- зменшення постійних витрат підприємства (наприклад витрат на дотримання температурних режимів у сховищах) (варіант 6).

Співвідношення обсягів зміни вищезазначених показників доходів та витрат буде виражатись в динаміці результуючого чинника – доходності та рентабельності. На практиці важливішим з точки зору оцінки роботи підприємства буде значення рівня рентабельності, адже вона враховує і рівень витрат підприємства чи обсяг вкладеного капіталу.

Щодо співвідношення доходів та витрат то теоретично можливі два кінцеві варіанти розвитку подій – зростання доходів при незмінності витрат (сценарій А) або зменшення витрат при незмінності доходів (сценарій Б). Можливий і третій сценарій – зростання доходів та зростання витрат, але на практиці він малоймовірний та може бути представлений як комбінація двох вищезазначених сценаріїв. Тому обидва варіанти мають результатом зростання рівня рентабельності. Можливі комбінації варіантів та кінцевих сценаріїв наведені в табл. 3.34.

Формування “кінцевого варіанти розвитку подій” вживається з метою врахування поправки на своєрідний термін поправки, який є ні чим іншим як термін окупності інвестицій в застосування енергозберігаючих технологій якщо такі мали місце. Врахування цього аспекту є ключовим в розумінні доцільності та змісту використання нововведень, в тому числі і енергозберігаючих технологій. Практичний прояв цього чинника може характеризувати рівень потреби у додаткових витратах чи додатковому капіталі підприємства та також повинен враховуватись. Паралельним фактором і характеристикою буде рівень ризику, який буде більш детально розглядати нижче.

В будь-якому випадку успішного впровадження нових енергозберігаючих технологій можливий виключний перелік можливих механізмів економічного впливу, а саме відсутність прямого впливу (варіант 1) або зростання доходів (варіант 2). З точки зору витрат ситуація не така однозначна, адже можливий дещо ширший ряд можливих сценаріїв:

- одноразове (або не повторюване) зростання витрат, напряму пов'язане з впровадженням нових технологій (варіант 3);
- супутні витрати, що виникають при впровадженні енергозберігаючих технологій та не пов'язані напряму з енергозберігаючими технологіями (наприклад вимушені простої виробництва, пошук нових постачальників чи навчання працівників, тощо) (варіант 4);
- зменшення змінних витрат (варіант 5), або збільшення виробництва (результатів господарської діяльності) в абсолютних одиницях – зростання кількості чи зменшення собівартості внаслідок більш ефективного використання ресурсів підприємства (варіант 6);
- зменшення постійних витрат підприємства (наприклад витрат на дотримання температурних режимів у сховищах) (варіант 7).

**Сценарії впливу впровадження енергозберігаючих технологій  
у діяльність підприємств сільськогосподарського сектору**

Показники	Сценарій А			Сценарій Б		
	До впровадження	Під час впровадження	Після впровадження	До впровадження	Під час впровадження	Після впровадження
Постійні витрати	–	Змінюються тимчасово (варіант 3 – тимчасово зростають)	Не змінюються	–	Змінюються (варіант 3 – тимчасово зростають)	Зменшуються (варіант 7)
Змінні витрати	–	Змінюються тимчасово	Не змінюються (варіант 6 – зменшуються)	–	Змінюються – тимчасово зростають (варіант 4)	Зменшуються (варіант 5)
Дохідність	–	Змінюються (зростає тимчасово) (варіант 2)	Зростає (варіант 2)	–	Не змінюється (варіант 1)	Не змінюється (варіант 1)
Рентабельність	–	Змінюється	Зростає	–	Змінюється	Зростає
Характеристика впливу на економічну безпеку	–	Змінюється	Позитивний	–	Змінюється	Позитивний
Ключовий фактор впливу оцінки	–	Вартість впровадження	Термін окупності інвестицій	–	Успішність впровадження	Напрямки використання додатково заощаджених ресурсів

*Джерело: авторська розробка*

Отже, порівнявши сценарії застосування енергозберігаючих технологій на підприємствах бачимо, що саме в підвищенні рівня рентабельності полягає мета використання і впровадження енергозберігаючих технологій. Паралельно зменшується залежність сільськогосподарського підприємства від зовнішніх чинників. Така комбінація є “класичним” механізмом зростання економічної безпеки економічних суб’єктів. Механізм подолання можливих ризиків полягає в можливості прогнозування та розрахунку потенційного економічного ефекту та широкого переліку доступних для вибору в аграрній сфері технологій, що мають на меті підвищення енергетичної ефективності діяльності конкретного підприємства.

Складність трактування терміну “енергетична ефективність” в світлі парадигми економічної безпеки полягає в його однорідності з енергозбереженням. За своєю суттю енергетична ефективність є частиною енергозбереження. На відміну від енергозбереження, головним чином спрямованого на зменшення енергоспоживання, енергетична ефективність – корисне (ефективне) витрачання енергетичних ресурсів. Доцільно дану категорію визначати як “характеристики, що відображають відношення корисного ефекту від використання енергетичних ресурсів до витрат енергетичних ресурсів, вироблених в цілях отримання такого ефекту” [4, с. 15].

Відсутність підвищення енергетичної ефективності економіки проявляється в завищенні тарифів, що призводять до збільшення частки енергетичних витрат у структурі собівартості продукції [2]. Тому подальше використання товарів чи сировини, що була виготовлена з невисокою енергоефективністю тягне за собою і подорожчання продукції, що виготовляється, та в кінцевому результаті погіршення рівня її конкурентоспроможності, та, відповідно, і рівня економічної безпеки підприємства-виробника. Такий алгоритм притаманний переважній більшості сфер діяльності, проте особливо гостро проявляється саме в аграрній сфері, яка як основа ряду суміжних галузей повинна мати максимальний рівень енергетичної ефективності.

Щоб виявити що собою являє на практиці такий механізм підвищення економічної безпеки за рахунок використання енергозберігаючих технологій розглянемо для прикладу рослинництво. Найбільш енергоємний технологічний процес в підгалузі – відповідно обробка землі, на що в середньому витрачається 30 – 40 % енергії, яка споживається в сільському господарстві.

Одним з найбільш перспективних економічно та енергозберігаючим і одночасно ґрунтозахисним прийомом є мінімальна та нульова обробки ґрунту, які суттєво скорочують агротехнічні операції. “Застосовувані в сучасній практиці варіанти енергозберігаючих технологій багато в чому розрізняються залежно від системи основної та передпосівної обробки ґрунту. При нульовій обробці ґрунту оранка і культивування відсутні, інтенсивніше використовуються засоби захисту рослин.



Отже, технологія з традиційною обробкою включає десять основних агротехнічних прийомів, з мінімальною – сім і з нульовою – тільки п'ять. Враховуючи позитивні і негативні фактори мінімальної та нульової обробки, слід все ж підкреслити, що в сучасному землеробстві тільки застосування цих прийомів дозволяє знизити вплив на ґрунт негативних факторів (ущільнення ґрунту, руйнування структури, порушення водного режиму)” [12]. При використанні таких методів врожай зернових, наприклад майже не змінюється, а енергоємність менша майже в два рази – за рахунок економії пального на 10 – 15 кг на кожен гектар ріллі знижується, що в умовах високих цін на енергоносії економічно дуже вигідно, адже зменшується навіть потреба в оборотному капіталі підприємства.

Звичайно, в процесі освоєння таких технік можливі нові ризики (які мають менший ефект в порівнянні з перевагами), пов'язані з необхідністю відповідних засобів захисту рослин від бур'янів, шкідників і хвороб чи збільшення засміченості посівів. Такі негативні чинники мінімальних обробок можуть бути усунені при дотриманні всіх наукових рекомендацій, або подальшому вдосконаленні рівня енергетичної ефективності та економічної безпеки за рахунок безвідходних технологій.

Стрімке та неконтрольоване накопичення відходів становить загрозу не тільки довкіллю, але й здоров'ю населення, а тому являє собою загрозу національній та економічній безпеці. У Національній стратегії управління відходами в Україні до 2030 р. [9] зазначається, що “значні обсяги накопичених в Україні відходів та відсутність ефективних заходів, спрямованих на запобігання їх утворенню, утилізації, знешкодження та видалення, поглиблюють екологічну кризу і стають гальмівним фактором розвитку національної економіки. Така ситуація обумовлює необхідність створення та забезпечення належного функціонування загальнодержавної системи запобігання утворенню відходів, збирання, перероблення та утилізації, знешкодження і екологічно безпечного видалення”.

Отже, існує гостра потреба в використанні нових технологій, які крім своєї енергоощадності ще повинні мати безвідходний характер, зокрема за рахунок технічного переоснащення виробництва, енерго- і ресурсоощадливих технологій, широкого застосування відновлюваних джерел енергії, розв'язання проблем утилізації відходів як напрямку підвищення рівня економічної безпеки.

Альтернативою до зниження енергозатрат у процесі сільськогосподарського виробництва є використання доступних або виробництво нових альтернативних джерел енергії. Саме аграрний сектор має найбільші потенційні можливості та резерви щодо виробництва відновлювальних джерел енергії [6].

Впровадження існуючих та створення перспективних енергоефективних безвідходних технологій є втіленням інтересів забезпечення продуманого використання ресурсів (зокрема енергетичних та матеріально-сировинних) та науково обґрунтованого узгодження економічних, екологічних та соціальних інтересів суспільства [1, с. 23]. Саме такий підхід являє собою орієнтацію на нові, більш прогресивні показники діяльності підприємств, одним з яких є економічна безпека, що сьогодні вже виступає альтернативою у своєму значенні до таких базових показників оцінки діяльності підприємства як рентабельність. Саме масове застосування наукового обґрунтованих принципів дає максимальний позитивний синергетичний ефект. Так, у грудні 2008 р. Єврокомісія прийняла рішення про відмову від ламп розжарювання, які були замінені поступово до вересня 2016 р., що за прогнозами мало знизити загальне споживання електроенергії на 3 – 4 % [3]. Загальний обсяг заощадженої енергії виявляється достатнім для забезпечення освітленням такої країни як Румунія. Тобто ефективність впровадження енергоощадних чи енергоефективних технологій надзвичайно перспективна не тільки з соціальних та екологічних причин, але є і ключовим напрямком забезпечення економічної безпеки, що може стати одним з основних векторів розвитку господарюючих суб'єктів в XXI ст., а особливо для підприємств сільськогосподарського сектору, які не втрачають свою актуальність і необхідність навіть в сучасному інформаційному суспільстві.

### 3.20. Структуризація методів фінансування проектів у сфері енергозбереження: український вимір

© Петренко І. П.

*к.е.н., доцент кафедри інвестиційної діяльності ДВНЗ “Київський національний економічний університет ім. Вадима Гетьмана”, м. Київ, Україна*

© Никитенко У. А.

*лаборант кафедри інвестиційної діяльності ДВНЗ “Київський національний економічний університет ім. Вадима Гетьмана”, м. Київ, Україна*

Рівень ефективності та незалежності галузі енергетики будь-якої країни є невід'ємною складовою стратегії її соціально-економічного розвитку. Однак для України це ще й питання національної безпеки, необхідна передумова її державного суверенітету через високий рівень залежності від імпорту енергоносіїв. Проблема забезпечення енергетичної незалежності особливо загострилась в

останні роки під впливом анексії Автономної Республіки Крим, військово-політичного конфлікту на Донбасі, протистоянням із Російською Федерацією, що тривалий час виступала основним постачальником нафти та газу в Україну, а також посиленням економіко-політичної нестабільності у світі та поступовим вичерпуванням традиційних джерел енергоресурсів. За таких обставин питання реалізації політики енергозбереження у масштабах усієї країни є як ніколи актуальним, проте втілення кожного із заходів в рамках такої політики потребує фінансування. Необхідність визначення фінансового потенціалу вітчизняних суб'єктів господарювання в контексті реалізації проектів у сфері енергозбереження обумовили вибір теми дослідження.

Актуальність даного дослідження зумовлена, по-перше, тим, що частина праць вітчизняних науковців носять епізодичний та безсистемний характер, описуючи лише один чи декілька методів надання фінансової підтримки для здійснення інвестицій в енергозбереження. Наприклад, Н. Матвійчук у своїй статті згадує лише про ті заходи фінансового стимулювання розвитку енергозбереження, які подані у Законі України “Про енергозбереження”, а саме:

- надання податкових пільг підприємствам – виробникам енергозберігаючого обладнання, техніки і матеріалів, засобів вимірювання, контролю та управління витратами паливно-енергетичних ресурсів, виробникам обладнання для використання нетрадиційних та поновлюваних джерел енергії і альтернативних видів палива;

- надання податкових пільг підприємствам, які використовують устаткування, що працює на нетрадиційних та поновлюваних джерелах енергії, альтернативних видах палива;

- пріоритетне кредитування заходів щодо забезпечення раціонального використання та економії паливно-енергетичних ресурсів;

- встановлення підвищених норм амортизації енергозберігаючих основних фондів;

- цільових державних та інших субсидій і безповоротне асигнування на виконання пошукових науково-дослідних робіт у сфері енергозберігаючих технологій і нетрадиційних видів енергії, на виробництво та освоєння нових видів енергозберігаючої техніки та технологій;

- надання юридичним і фізичним особам субсидій, дотацій, податкових, кредитних та інших пільг для стимулювання використання енергозберігаючих технологій, обладнання і матеріалів [7, с. 87].

Однак це переважно ті інструменти фінансування енергозберігаючих заходів, що може запропонувати держава. Отже, автор виключила із дослідження ті фінансові інструменти, які підприємства можуть застосувати самостійно, або ж із залученням коштів фінансово-кредитних установ чи міжнародних організацій.

Так, Р. Тормосов та І. Степаненко звужили своє дослідження лише до фінансування енергозберігаючих заходів у вищих навчальних закладах [14, с. 120]. Р. Данилейчук та О. Романко, намагаючись дослідити прикладні аспекти фінансування енергозберігаючих проектів із залученням коштів вітчизняних та іноземних інвесторів, зосередили свою увагу лише на кількох успішно реалізованих проектах, як от діяльності приватного акціонерного товариства “Українська енергозберігаюча сервісна компанія” чи “Доступне тепло – Фонд енергозбереження м. Бурштина” [3, с. 196 – 200].

Отже, ці та інші схожі за проблематикою дослідження носять епізодичний характер і не дають можливості сформувати цілісне уявлення про те різноманіття методів та інструментів, які вітчизняні суб'єкти господарювання можуть використати для фінансування своєї енергоефективності.

По-друге, слід розуміти, що поява нових механізмів фінансової підтримки енергозберігаючих проектів є відповіддю на виклики сучасності, геополітичні, економічні, екологічні та соціальні зміни у країні. В останні роки під впливом євроінтеграційних процесів, зовнішньополітичних зрушень та потреб економіки ці зміни є особливо стрімкими. А тому сьогодні необхідним є нове, комплексне дослідження, яке дозволить сформувати цілісне уявлення про вітчизняний методичний інструментарій з фінансування енергозбереження.

Перш, ніж перейти до висвітлення окресленої проблематики дослідження, потрібно чітко визначити, що виступатиме об'єктом фінансування. Ним є проект у сфері енергозбереження, або ж енергозберігаючий проект, який Законом України “Про енергозбереження” описаний як проект, спрямований на скорочення енергоспоживання, а саме: реконструкція мереж і систем постачання, регулювання і облік споживання води, газу, теплової та електричної енергії, модернізація огорожувальних конструкцій та технологій виробничих процесів [10].

Статтею 12 цього ж Закону визначено, що джерелами фінансування заходів щодо ефективного використання паливно-енергетичних ресурсів є Державний фонд енергозбереження, власні та позикові кошти підприємств, установ і організацій, Державний бюджет України, місцеві бюджети, а також інші джерела [10]. Таке формулювання занадто широке, однак дає змогу зрозуміти, як багато суб'єктів і наскільки різноманітні інструменти можуть бути задіяні при фінансуванні енергоефективних проектів.

Враховуючи зазначене вище, ми вважаємо, що в основу структуризації методів фінансового забезпечення проектів у сфері енергоефективності слід покласти ознаку суб'єкта, який здійснює фінансування, а виокремлення конкретних інструментів в рамках визначених методів здійснювати також з урахуванням їх економічної природи та специфічних характеристик.

Такий підхід дозволив нам виявити та структурувати діючі в Україні методи на інструменти фінансування енергозберігаючих проектів (рис. 3.36).

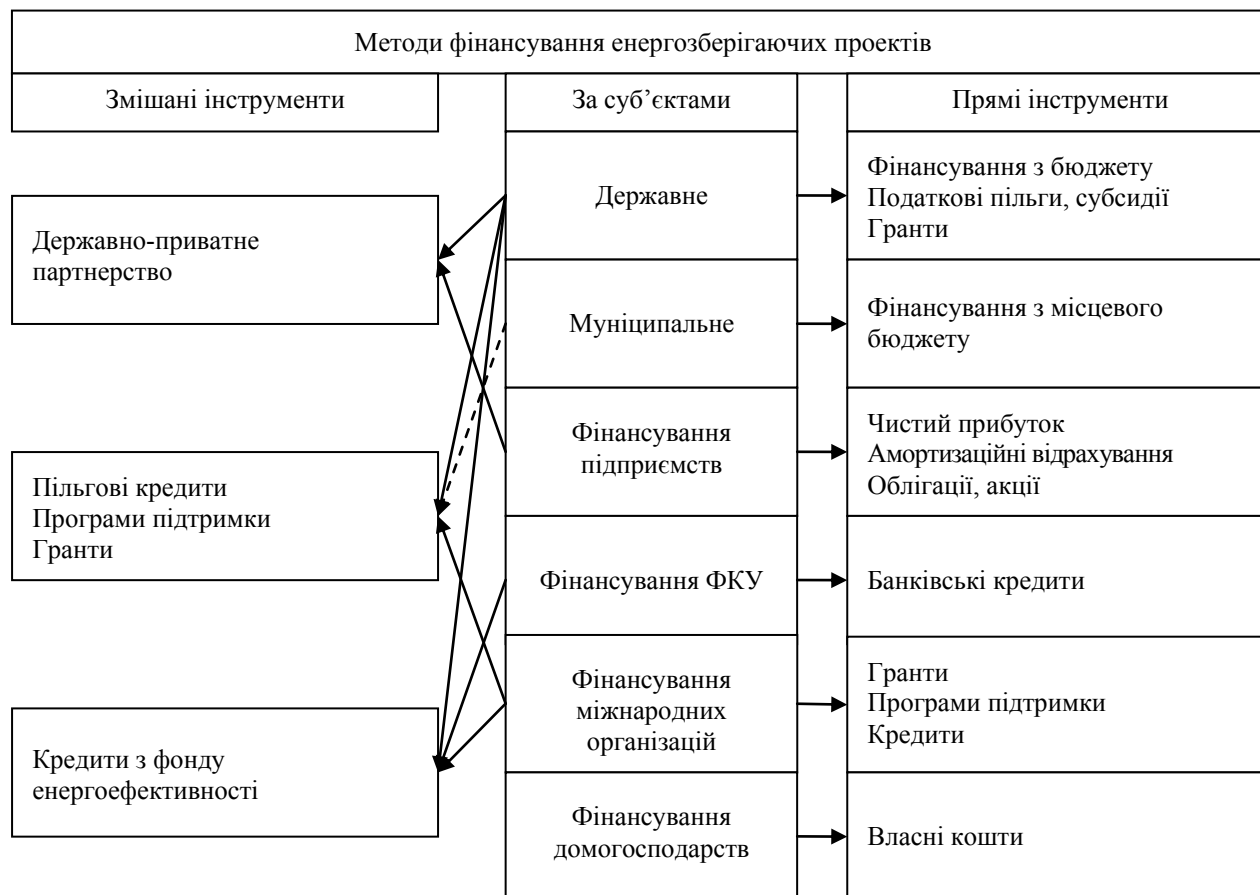


Рис. 3.36. Методи та інструменти фінансування енергозберігаючих проектів

Джерело: авторська розробка

Фінансування програм з енергозбереження буде ефективним тільки, якщо існує тісний взаємозв'язок з органами державної та місцевої влади. Державні органи створюють законодавчу базу для залучення фінансування енергозберігаючих проектів, взаємодіють з міжнародними фінансовими організаціями, засновують певні державні програми та надають державні гарантії на залучення фінансування. Місцеві органи влади, як і державні, створюють власні програми енергозбереження, що фінансуються з місцевого бюджету, надають муніципальні гарантії, а також виступають партнерами вже існуючих програм з енергозбереження. Варто сказати, що місцеві органи влади краще розуміють пріоритетні напрямки енергозбереження в певному регіоні.

1 січня 2018 р. розпочав свою роботу Фонд енергоефективності, що був заснований в Україні з метою полегшення доступу до коштів міжнародних фінансово-кредитних установ з подальшим їх спрямуванням на комплексну енергомодернізацію комунальних та житлових будівель [6]. Згідно принципів роботи даного Фонду, фінансування буде спрямоване на впровадження проектів з термомодернізації, імплементації ефективних систем менеджменту, заміну та встановлення більш дієвих опалювальних й охолоджувальних систем і обладнання. Фонд має можливість надати фінансову підтримку шляхом часткового відшкодування вартості проекту напряму або через партнерські банки.

Місцеві органи влади останнім часом почали активно виділяти додаткові кошти із власних бюджетів для впровадження проектів з енергоефективності. Окрім прямого виділення коштів з місцевого бюджету місцеві органи влади можуть застосовувати такий інструмент фінансування як револьверний фонд. Він представляє собою сукупність фінансових ресурсів, які призначені для здійснення капітальних вкладів з метою отримання економічного ефекту [12]. Ідея револьверного фонду полягає в накопиченні фінансових ресурсів для здійснення інвестицій у певні проекти за рахунок фінансових потоків, отриманих від попередніх інвестицій з порівняно невеликим терміном окупності. Якщо постійно

реінвестувати у проекти з невеликим терміном окупності, то це дозволить акумулювати нові ресурси за рахунок потоків готівки, які надходять до фонду. Револьверний фонд може бути інструментом реалізації місцевих державних програм енергозбереження з використанням місцевих державних бюджетів розвитку для організації фінансування низки інвестиційних проектів з енергозбереження.

Муніципалітети мають можливість укладати кредитні договори з міжнародними фінансовими організаціями напряму. В такому разі, кредитні кошти перераховуються позичальнику на рахунок, відкритий у місцевому банку. Прикладом наведеної схеми фінансування є програма “Енергозбереження” від НЕФКО [11], яка направлена на підвищення енергоефективності у споживанні теплової енергії будівлями, що відносяться до державної та комунальної власності.

У найбільших населених пунктах України діють окремі місцеві програми підвищення енергоефективності. Дані програми затверджені в Києві, Рівному, Вінниці, Тернополі, Дніпропетровську, Черкасах, Хмельницькому та в інших містах [5]. Кошти за програмами спрямовуються на такі напрямки енергоефективності, як утеплення житлових та громадських будівель, модернізацію систем централізованого опалення, встановлення лічильників тощо.

Фінансування проектів у сфері енергозбереження за рахунок власних коштів допомагає підприємствам зберегти незалежність від фінансових установ та не погіршує показники балансової звітності. До основних категорій власних коштів, що використовуються при фінансуванні енергозберігаючих проектів, відноситься прибуток та амортизація [15]. До переваг реінвестування прибутку слід віднести: відсутність витрат, пов'язаних із залученням капіталу із зовнішніх джерел та збереження контролю за діяльністю підприємства з боку власників. У свою чергу, недоліками використання цього джерела фінансування є обмежена і змінювана величина прибутку, складність його прогнозування, а також значна залежність від зовнішніх факторів. Ще одним важливим джерелом самофінансування підприємств є амортизаційні відрахування. Перевага амортизаційних відрахувань полягає в тому, що вони існують за будь-якого фінансового стану підприємства і завжди залишаються в його розпорядженні.

Фінансування проектів у сфері енергозбереження підприємствами також можливе за рахунок емісії акцій чи облігацій. Недоліком пайового фінансування є втрата контролю над бізнесом та над розподілом прибутку. Випуск облігацій не призводить до втрати контролю, однак зумовлює виникнення боргових зобов'язань. Загалом, такі інструменти фінансування проектів енергозбереження не підходять для всіх типів підприємств, а також для маленьких проектів.

Відносно новим наразі для України інструментом фінансування проектів у сфері енергозбереження є перфоманс-контракти (або енергетичні перфоманс-контракти). Цей механізм заснований на наданні спеціалізованою енергосервісною компанією (ЕСКО), низки послуг з енергозбереження з відшкодуванням своїх витрат і отриманням фінансового прибутку з фактично досягнутої економії енерговитрат [8, с. 14]. Його суть полягає в тому, що приватний інвестор виконує термомодернізацію, профінансувавши її з власних коштів, і може отримувати прибуток за рахунок досягнутої економії на комунальних платежах. Проект відповідно до механізму дії ЕСКО може бути частково профінансований за рахунок коштів державного чи місцевих бюджетів або іншими зацікавленими інвесторами. У разі необхідності додаткове фінансування може бути отримане через інструменти кредитування комерційних банків чи інших фінансово-кредитних установ.

ЕСКО слід використовувати, аби підвищити енергетичну ефективність будівель, за умови гарантованого досягнення економії енерговитрат та, зазвичай, в разі браку власних фінансових ресурсів. До сильних сторін даного інструменту належать: гарантована окупність інвестицій завдяки реалізації енергоефективних заходів з метою їх наступного реінвестування; доступ до дешевших інвестиційних ресурсів; кваліфікований проектний менеджмент на всіх стадіях його реалізації; сучасне управління експлуатацією та обслуговуванням об'єкту, що здійснюється після завершення проекту.

Недоліками ЕСКО є ризик так званого “зняття вершків” (тобто відбувається фінансування не енергоефективних заходів, а тих, що здатні принести більший прибуток); на розробку і погодження контрактів необхідний час; як правило, ЕСКО нездатні надати власне фінансування [4]. Причинами непоширеності механізму енергосервісу є недосконалість законодавства, що несе високі ризики для інвестора у формі можливої судової тяганини з власниками після проведення робіт, тривала окупність робіт, ризики вибору некомпетентного виконавця (наприклад, монтажників), брак фінансових та страхових продуктів для діяльності ЕСКО-компаній тощо.

Доволі популярним є пільгове кредитування в сфері енергозбереження. За такої схеми фінансування кредитні кошти пропонуються під низькі або нульові відсотки. Державна підтримка стимулює зацікавленість комерційних фінансових установ до видачі кредитів для таких проектів. Прикладом пільгового кредитування є програма Кабінету Міністрів України “Теплі кредити”, за яким частину тіла кредиту й відсотків компенсує держава. За даною програмою обсяг наданих населенню кредитів для придбання енергоефективних матеріалів і обладнання у 2015 р. склав 1570 млн грн., у 2016 р. – 900 млн грн, у 2017 р. – 400 млн грн. [13]. Видачею кредитів задля підтримки енергозбереження займаються такі банки, як “Ощадбанк”, “Укргазбанк”, “Укресімбанк” та “Приватбанк”.

Регіональна диференціація активності населення щодо участі в урядовій програмі “Теплі кредити” є доволі значною. Станом на кінець 2017 р. найбільше кредитів отримало населення Львівської області (62,4 млн грн), міста Києва та Київської області (42,4 млн грн) та Івано-Франківської області (28 млн грн), в той час, як середній показник по регіонах складає 13 млн грн [5].

Відшкодування, яке надається учасникам даної програми, становить:

– 20 % суми кредиту (але не більше 12 тис. грн) на придбання негазових/неелектричних котлів для фізичних осіб;

– 35 % суми кредиту (але не більше 14 тис. грн) на придбання енергоефективного обладнання/матеріалів для фізичних осіб;

– 40 % суми кредиту (але не більше 14 тис. грн. на одну квартиру) на придбання енергоефективних матеріалів та обладнання для ОСББ (окрім домогосподарств, які отримують субсидії);

– 70 % (але не більше 14 тис. грн. в розрахунку на одну квартиру) на придбання енергоефективних матеріалів та обладнання для ОСББ (тільки для домогосподарств, які отримують субсидії) [13].

На даний момент, банки не здійснюють видачу “теплих кредитів” із державною компенсацією і точна дата поновлення їх видачі невідома [13].

Отже, основною проблемою в процесі використання “теплих” кредитів є те, що кошти з бюджету в банки-оператори надходять із затримками, тому часто ці програми припиняють. Проте незважаючи на затримки, всі виділені бюджетом кошти були освоєні.

Якщо говорити про власне банківське кредитування, то воно є непопулярним, хоч і перспективним інструментом фінансування енергозбереження, адже кредит відіграє неабияку роль у забезпеченні підприємств грошовими коштами для реалізації різних заходів. Особливості кредиту пов’язані з такими недоліками: високі відсоткові ставки банків зумовлюють високу вартість даного виду ресурсів; обсяг фінансування обмежений поточними фінансовими можливостями; необхідність мати забезпечення за кредитом; відбувається погіршення структури балансу. Перевагами кредитування є те, що кредит є широко доступним методом фінансування; наявна відносна швидкість розгляду і схвалення банком кредитної заявки; низькі витрати по його залученню; не призводить до втрати контролю над бізнесом [12; 15]. В Україні створення спеціальних енергоефективних кредитних продуктів банками відбувається дуже повільно. Це зумовлено високими відсотковими ставками на ринку, що не передбачають різного виду відшкодування, тож не можуть конкурувати з умовами спеціальних програм з енергоефективності.

Суттєво підвищується роль зовнішніх запозичень від міжнародних фінансових організацій та іноземних державних фінансових установ, які мають можливості та бажання фінансувати проекти місцевого розвитку та є надійним джерелом для забезпечення розвитку місцевої інфраструктури. Як зазначає Р. Тормосов, вартість запозичень від таких кредиторів істотно нижче, а терміни довше, якщо порівнювати із банківським кредитуванням [1]. Унаслідок цього в сучасних умовах запозичення від МФО та іноземних державних фінансових установ є реальним джерелом фінансування проектів енергозбереження.

В Україні діють кредитні та грантові програми, пов’язані з проектами енергозбереження, від багатьох міжнародних інституцій. Кредитні програми представлені Північною екологічною фінансовою корпорацією, Європейським банком реконструкції і розвитку, Світовим банком, Європейським інвестиційним банком, Німецьким державним банком розвитку. Грантові програми та технічні підтримки представлені проектами Східноєвропейського партнерства з питань енергоефективності та екології (E5P), проекту ПРООН “Секретаріат з питань енергоефективності і експертний центр” (за підтримки Словаччини), проекту USAID “Муніципальна енергетична реформа в Україні” (MERP), проекту IFC “Енергоефективність у житловому секторі України”, проекти GIZ “Енергоефективність у громадах” та “Створення енергетичних агентств в Україні” [5; 9].

У табл. 3.35 можна бачити порівняльну характеристику основних програм підтримки, які надають зазначені вище установи у сфері енергозбереження.

На відміну від вітчизняних “теплих кредитів”, міжнародні кредитні і грантові програми зорієнтовані на сегмент малого та середнього бізнесу. Доступ до таких програм для вітчизняних підприємств є складнішим, оскільки переважно міжнародні організації встановлюють суворі критерії відбору для їх учасників. Окрім урядових гарантій, міжнародні фінансово-кредитні установи вимагають дотримання показників економічної ефективності, що включають такі індикатори, як внутрішня норма дохідності, чиста приведена вартість тощо [2, с. 34]. Сукупність критеріїв залежить від установи, виду й мети фінансування.

Також міжнародне кредитування інвестиційних проектів потребує значно більше часу, а також консультацію зовнішніх експертів. Із настанням фази реалізації проекту зростає ризик появи специфічних проблем із більш складними наслідками, ніж на стадії розробки проекту. Найсерйозніші з них пов’язані із місцевим фінансуванням. міжнародні фінансово-кредитні установи беруть до уваги особливості узгодження взаємного фінансування із місцевими громадами, особливо тоді, коли воно необхідне на стадії упровадження, оскільки місцеве фінансування є ключовою умовою надання міжнародного кредиту.

**Порівняння окремих програм енергозбереження від міжнародних фінансових організацій**

Міжнародна фінансова організація	Північна екологічна фінансова корпорація (НЕФКО)	Європейський банк реконструкції і розвитку (ЄБРР)
Назва	“Енергозбереження”	“IQ Energy”
Мета	Підвищення енергоефективності у споживанні теплової енергії будівлями, що відносяться до державної та комунальної власності	Підвищення енергоефективності (за рахунок покращення централізованого тепlopостачання, модернізації енергетичних компаній і т.д.)
Кінцевий отримувач позики	Муніципалітет	Приватне домогосподарство
Сума позики	До 400 тис. євро	До 150 тис. грн
Річна відсоткова ставка	3 %	30 % річних
Примітки	Кредитні договори між МФО та муніципалітетами укладаються напряму та кредитні кошти перераховуються позичальнику на рахунок відкритий у місцевому банку	Розподіл коштів відбувається через банківські установи. Надаються гранти 15 % та 20 %

*Джерело: узасільнено авторами за даними [5]*

Економія енергоресурсів наразі набуває усе більшої актуальності, оскільки сприяє заощадженню грошових ресурсів та збереженню довкілля. Проте у більшості випадків у довгостроковій перспективі економія вимагає початкових інвестицій в об'єкти інфраструктури. Державний та місцеві бюджети не здатні повністю задовольнити потреби в інвестуванні у проекти розвитку інфраструктури та енергозбереження. Також до числа гострих проблем при впровадженні проектів енергозбереження відносяться: складність фінансування проектів, повна невідповідність промисловості до випуску необхідного енергозберігаючого обладнання і технічних засобів. За таких обставин варто застосувати усі доступні фінансові інструменти, досвід та потенціал приватного сектору, міжнародних фінансових інституцій, місцевих громад та державні гарантії для такого фінансування.

В результаті дослідження було виявлено, що на сьогоднішній день в Україні налічується досить великий перелік інструментів фінансування в сфері енергозбереження. Та попри це частка проектів у сфері енергозбереження все ще залишається незначною. Їх розвиток та поширення стримують безліч факторів. По-перше, обсяг бюджетних коштів, що виділяються на програми фінансування енергоефективності, є недостатнім, аби задовольнити весь наявний попит з боку населення. По-друге, діючі програми фінансування енергоефективності мають направленість на індивідуальні інвестиційні проекти, внаслідок чого неможливо досягнути максимального ефекту зменшення енергоспоживання. Варто згадати і недостатню обізнаність населення та інших суб'єктів ринку енергозбереження, що значно уповільнює процес залучення фінансування та реалізації проектів енергоефективності. Значною проблемою є відсутність законодавчої бази на ринку енергоефективності, що регулює відносини між його ключовими суб'єктами, яка має надавати можливість створювати інструменти фінансування та впроваджувати енергоощадні заходи.

Подолання цих бар'єрів – це нагальна необхідність. Лише за умови, що держава буде спроможна створити відповідні передумови, приватні установи матимуть достатньо стимулів та мотивації для фінансування та реалізації заходів для підвищення енергозбереження. Для держави ключовим завданням має стати формування стимулюючої політики, особливо стосовно формування тарифів на енергію, відповідної нормативно-правової бази, що дозволить використовувати інноваційні фінансові інструменти, а також послідовна макроекономічна політика. Вдосконалення українського законодавства та його приведення до відповідності процедурам міжнародних фінансових організацій може значно полегшити механізми залучення іноземних інвестицій в економіку України.

Якщо аналізувати залучення позикових для фінансування проектів енергозбереження, то необхідно сказати, що попит на кредити комерційних банків є низьким через високі кредитні ставки на ринку. Державна підтримка частково вирішує дану проблему, адже попит на пільгове кредитування в Україні є доволі високим. Але в цьому випадку виникає інша проблема – недостатність бюджетних коштів для фінансування таких програм, кошти з бюджету в банки-оператори надходять із затримками, тому часто ці програми припиняють.

Перспективним додатковим каналом фінансування могли би бути енергосервісні компанії, так як вони надають повний пакет послуг з реалізації проекту, зокрема енергоаудит, підготовку техніко-економічної документації проекту, виконання робіт з відбору, монтажу і введення в експлуатацію енергоефективного устаткування, фінансування, маркетингові заходи тощо.

Однак детальний аналіз виявив багато проблем в українському законодавстві. Передусім, мова йде про відсутність чіткого формулювання стосовно даного виду діяльності, стратегічних бюджетних програм, а також положень, які б захищали кредитора від дефолту позичальника. Тому майбутній розвиток даного інструменту фінансування в Україні вимагає створення нового юридичного поля для роботи ЕСКО, і лише тоді вони зможуть бути задіяні у процесі фінансування інвестицій у підвищення енергоефективності.

### 3.21. Формування системи оцінювання стимулювання персоналу в контексті дослідження поведінки агентів з питань з енергозбереження

© Гільорме Т. В.

*к.е.н., доцент кафедри статистики, обліку та економічної інформатики,  
Дніпровський національний університет ім. Олеся Гончара, м. Дніпро, Україна*

З метою формування європейської ментальності у вітчизняних споживачів, посередників, постачальників, інших учасників ринкових процесів, слід проводити відповідне комунікаційне забезпечення створення і просування на ринки інноваційних енергозберігаючих технологій в Україні. Стимулювання запровадження проєктів, що пов'язані з провадженням енергозберігаючих технологій, особливо на основі альтернативних джерел енергії, потребує формування механізму як внутрішньому колу стейкхолдерів (власники, топ-менеджмент, персонал), так і зовнішньому (споживачі, посередники, постачальники).

Від того, як індивіди сприйматимуть те чи інше нововведення, багато в чому буде залежати швидкість (а іноді і сама можливість) поширення усього нового. Однією з важливих характеристик, що сприяє успіху інновацій, є інноваційна сприйнятливість: відкритість новому досвіду, критичність мислення і здатність долати стереотипи.

Інноваційна сприйнятливість як особлива характеристика особистості, дозволяє подолати бар'єри модернізації енергетичного комплексу. Феноменологія інновації як нова, нетрадиційна ситуація будь-якої людської діяльності, насамперед у професійній сфері, веде до змін і вимагає від людини зміни звичних дій. Однією з важливих характеристик інноваційної особи є адекватна самооцінка. Зазвичай вважають, що самооцінка є єдиною дефініцією, проте багато авторів виділяють у ній різні складові: окрім ситуаційної ще й глобальну, індивідуальну і соціальну, а також розрізняють ситуативну і постійно знижену самооцінку. Іншими необхідними для інноваційної діяльності характеристиками, на наш погляд, є готовність до активізації дослідницької поведінки у відповідь на новизну стимулу, успадковане прагнення до пригноблення або повного припинення провідної діяльності і наполегливість. Індивіди з низьким "пошуком новизни" не бажають змін, порушень у неспішному рутинному ході свого життя і всіляко цьому чинять опір. Люди з високим "уникненням шкоди", як правило, заздалегідь сильно турбуються і гальмують свою діяльність завищеними, часто необґрунтованими, побоюваннями навіть у буденних обставинах, уникають нових вражень через ризик фізичної або психологічної шкоди, у них погана пристосовуваність до змін і нововведень.

Модернізація й інноваційний розвиток методологічної платформи формування системи управління енергетичного комплексу є достатньо важким процесом, упродовж якого постійно необхідно долати бар'єри супротиву. Комунікаційні бар'єри пов'язані насамперед з проблемою формування мотивації активної поведінки кінцевого споживача енергосистеми. Необхідно створити систему інформування споживача, його навчання новітнім цінностям енергозбереження, зменшення деструктивної поведінки щодо розташування відповідного енергетичного обладнання безпосередньо від домівок тощо. Стимулювання споживача розширює можливості споживання енергозберігаючих технологій, сприяє формуванню позитивного іміджу інноваційних енергозберігаючих технологій, можливостей оптимізації управління енергетикою, підвищення доступності мережі розподілу генеруючого обладнання. Значну роль в інноваційному розвитку в енергетичному комплексі відіграють сформовані у людини життєві установки, моделі поведінки, які або сприяють поширенню інновацій, або перешкоджають. Сприйнятливість чи несприйнятливість громадянського суспільства до інновацій в сфері енергозбереження на сучасному етапі в Україні визначається переважно соціальними чинниками (серед яких низький рівень якості життя значної частини населення не сприяє розвитку інновацій) [1, с. 24].

Власники та топ-менеджмент, зазвичай, не зацікавлені у змінах процесів та технологій налагодженої енергосистеми. Відсутність системи мотивації на збільшення витрат на дослідження та розробки в сукупних витратах енергетичних компаній призводить до відставання галузі.

Збільшення питомої ваги проведення технічного аналізу комп'ютерами призводить до втрат фундаментальних знань та розуміння принципів функціонування енергосистеми. Неможливість на даному

етапі інформаційного суспільства створити штучний інтелект, обмеження наявної автоматизації процесів діяльності призводить до виникнення феномену втрат фундаментальних знань. Інвестиції носять все більш прикладний характер у галузі енергетики: орієнтація на швидкість окупності, що призводить до зменшення частоти проникнення інноваційних ідей у технологічний базис.

При реалізації моделі з енергозбереження на протязі всієї сукупності формування споживчої цінності як прояв розглянутих бар'єрів супротиву, виникають групи інтересів агентів з енергозбереження. Для аналізу даних процесів розглянемо математичну модель, яка передбачає опис поведінки агентів з питань з енергозбереження у часі та базується на підґрунті теорії клітинних автоматів. Клітинний автомат (КА) представляє собою сукупність однакових, деяким чином поєднаних між собою клітин, поведінка яких цілком визначається в термінах локальних залежностей [2; 3]. При цьому стан агента з питань з енергозбереження, його поведінка як реалізація його інтересів, залежить від двох груп факторів: зовнішніх та внутрішніх. На засадах когнітивної моделювання взаємодії можливо побудувати моделі соціальної поведінки агентів на засадах соціабельності (мікросередовище) та ступеню різноманітності елементів (макросередовище).

Параметр, що характеризує дію зовнішніх факторів, позначимо  $f^{ex} \in [0; 1]$ . Зовнішні фактори можливо проаналізувати за допомогою методів стратегічного аналізу: SWOT, PEST, тощо – провести групування за факторами: економічними, політичними, соціальними, технологічними. Наприклад, до зовнішніх факторів можливо віднести: наявність пільгових споживчих кредитів, період дії “зеленого” тарифу”, пільги у екологічному податку, формування ОССБ, впровадження інтернет-технологій (он-лайн лічильники), підвищення тарифів тощо.

До внутрішніх факторів відносяться якості кожного окремого агента з питань енергозбереження: здатність до комунікації, сприйнятливість до інновацій, громадянська позиція та ін. – зовнішні фактори позначимо параметром:  $f^{in} \in [0; 1]$ .

Загальну оцінку стану кожного агента з енергозбереження (виробника, посередника, споживача)  $A \in U$  у момент часу  $t$  можливо визначити Отже [4]:

$$F_A = f_A^{ex} \cdot f_A^{in}, \quad (3.47)$$

Але з часом, дія зовнішніх та внутрішніх факторів змінюється з деякою ймовірністю  $p$ , відповідно і змінюється загальний стан агента [4]:

$$p : F_A(t) \rightarrow F_A(t+1), \quad (3.48)$$

Агенти з питань енергозбереження здатні приймати рішення, що впливають на стан системи у майбутньому: існує можливість самоорганізації, адаптації. При цьому можливо згрупувати агентів за ступенем зацікавленості до процесів з енергозбереження, шкалювання: 0 – повна байдужість до енергозбереження; [0,1; 0,4] – низький рівень зацікавленості у енергозбереженні; [0,4; 0,7] – середній рівень зацікавленості у енергозбереженні; [0,7; 1] – високий рівень зацікавленості у енергозбереженні. Ступінь зацікавленості агентів “байдужість до енергозбереження” потребує додаткового аналізу причин цієї байдужості, що обумовлена рівнем соціабельності (інертність, нонкорфомізм, рівень акомодатії/асиміляції та ін.). Агентів, що входять у діапазон зацікавленості до процесів з енергозбереження: [0,1; 1] (при цьому  $U$  – всі дієздатні агенти), можливо розділити на три групи:  $A$  – агенти з високим рівнем зацікавленості в енергозбереженні, що готові до імплементації нової моделі енергозбереження;  $\bar{A}$  – агенти з середнім рівнем зацікавленості в енергозбереженні, необхідні додаткові зусилля для включення імплементації нової моделі енергозбереження;  $\tilde{A}$  – агенти з низьким рівнем зацікавленості в енергозбереженні, необхідно активні заходи щодо створення та розвитку активної поведінки агентів, зменшення де структурних змін у економічній поведінки для включення імплементації нової моделі енергозбереження.

Тоді сукупність агентів з питань енергозбереження відображається аналітично [4]:

$$U = A(t) \cup \bar{A}(t) \cup \tilde{A}(t), \quad (3.49)$$

Якщо заходи щодо створення та розвитку активної поведінки агентів з питань енергозбереження ефективні, відбувається розширення позитивного досвіду серед відповідних груп агентів – створюються умови для певної ймовірності переходу із групи в групу:  $\tilde{A} \rightarrow \bar{A}$ ;  $\tilde{A} \rightarrow A$ ;  $\bar{A} \rightarrow A$ . При цьому ймовірність зміни стану агентів визначається, як вказане вище,  $p : p_1 : \tilde{A} \rightarrow \bar{A}$ ;  $p_2 : \tilde{A} \rightarrow A$ ;  $p_3 : \bar{A} \rightarrow A$ . Також треба зауважити, що агенти існують не в замкнутій системі: відповідно до теорії клітинних автоматів, існує вплив кожного агента, групи ( $A$ ;  $\bar{A}$ ;  $\tilde{A}$ ) на поведінку кожного, особливо при прояві групових інтересів. Питання цього впливу можливо



дослідити за допомогою моделі соціальної поведінки І. М. Трофімової [5]: вплив формальних ознак середовища на поведінку в групі (ступінь різноманітності елементів, величина популяції і можливість установа контактів (соціабельність)). Пропонуємо визначати вплив на поведінку агентів з питань енергозбереження за 3 групами: з урахуванням ступень залучення/незалучення технічних засобів (вплив комп'ютерних соціальних мереж, активності агентів у цих соціальних мережах, рівень інформаційної прозорості засобів просування технологій з енергозбереження та ін.); рівень комунікативності (ментальності, сприйнятливості та інших психологічних чинників особистості); гострота проблеми з енергозбереження (масове відключення енергетичних систем; збільшення питомої ваги енергоносіїв у собівартості продукції, послуг, робіт; масові “вимушені канікули” в установах бюджетної сфери на опалювальний період та ін.).

Впровадження моделі поведінки агентів з питань енергозбереження можливо розглянути в контексті концепції “хижак-жертва”, як найбільш розповсюджене явище у природі. При цьому діяльність суб'єктів господарювання розглядається у аналогії економічних систем з біологічними.

Якщо ж хижаки харчуються не здатними чинити опір видами, це призводить до іншого еволюційному результату. Гинуть ті особи, яких хижак встигає помітити. Виграють менш помітні або чим-то незручні для захоплення жертви. Еволюція видів йде в бік спеціалізації за цим ознаками [6]. Так, В. П. Романов та Б. А. Ахмадєєв запропонували описати модель взаємодії двох видів типу “хижак – жертва” у математичній формі [6]:

$$\begin{aligned} \frac{dx}{dt} &= (\alpha - \beta y)x, \\ \frac{dy}{dt} &= (-\gamma + \delta x)y \end{aligned} \quad (3.50)$$

де  $x$  – кількість жертв;

$y$  – кількість хижаків;

$t$  – час;

$\alpha, \beta, \gamma, \delta$  – коефіцієнти, які відображають взаємодію між видами.

Для нашого дослідження найбільший інтерес представляють саме типові хижаки у їх взаєминах з жертвами і з екосистемою в цілому. Якщо хижак харчується великими, активними жертвами – веде відбір на вдосконалення жертв, знищуючи хворих і слабких. У свою чергу, серед хижаків теж йде відбір на силу, спритність і витривалість. Наслідок у еволюційному масштабі цих відносин – прогресивне розвиток обох взаємодіючих видів – і хижаків і жертви [2].

В економічних системах такого роду еволюція відбувається за схожими принципами. Нова технологія, особливо яка має енергозберігаючу складову, коли з'являється на ринку, потрапляє у ворожу середу і веде боротьбу за виживання (міжнародні корпорації з добутку нафти та природного газу блокують проекти з альтернативної енергетики). Це пов'язано з тим, що на ринку присутні більш старі й сильні технології, тому нові технології або поглинаються старими, або вмирають, не розвинувшись в повній мірі. Але, якщо нова технологія виявляється більш конкурентною, то вона витісняє стару.

Створення системи оцінювання стимулювання персоналу, що збалансована з позиції точності, об'єктивності, релевантності, простоти, зручності і зрозумілості, є складним багатоаспектним процесом.

У табл. 3.36 подано показники оцінювання стимулювання персоналу щодо енергозбереження. Відокремлено 2 групи стимулювання персоналу: матеріальне і соціальне стимулювання, та показники в кожній групі.

Інформаційною базою є дані фінансової та статистичної звітності підприємств. Розрахунок узагальнюючого показника стимулювання персоналу щодо енергозбереження пропонується здійснювати за допомогою методу інтегрального показника.

Для співставлення показників різних груп приведемо їх до нормованого вигляду так, щоб зміни відбувались у діапазоні від 0 до 1. Для цього використано формулу [7]:

$$I_{i,j} = \left( 1 + e^{\frac{\bar{x}_j - x_{i,j}}{\sigma(x_j)}} \right)^{-1} \quad (3.51)$$

де  $x_{i,j}$  та  $I_{i,j}$  – вихідне та нормоване значення  $j$ -го показника для  $i$ -го підприємства;

$\bar{x}_j$  – середнє значення показника  $x_j$  на вибірці;

$\sigma(x_j)$  – відповідне стандартне відхилення.

**Показники оцінювання стимулювання персоналу щодо енергозбереження**

Групи стимулювання	Показники	Позначення показників
Матеріальне стимулювання (Mater)	Частка суми преміальних виплат за подані ідеї, раціоналізаторські пропозиції, нові рішення щодо енергозбереження до загальної суми преміальних виплат на підприємстві	m1
	Частка середньої заробітної плати персоналу, що займається інноваціями з енергозбереження на підприємстві, до загальної суми фонду заробітної плати	m2
	Частка суми преміальних виплат за заходи з енергозбереження (економію світла, палива, тощо) до загальної суми преміальних виплат по підприємстві	m3
	Частка фонду соціального розвитку у загальних витратах на персонал	m4
	Частка компенсаційних витрат при використанні засобів енергозбереження в загальній частки компенсаційних виплат персоналу	m5
Соціальне стимулювання (Social)	Частка витрат на проведення тренінгів, семінарів щодо роз'яснення необхідності заходів з енергоефективності в загальних витратах на розвиток персоналу	m6
	Частка витрат на підвищення кваліфікації щодо робіт на новому енергоефективному обладнанні в загальних витратах на розвиток персоналу	m7
	Частка витрат на проведення заходів спонукання до активної поведінки щодо енергозбереження (грамоти, робітник місяця, тощо) в загальних витратах на персонал	m8
	Частка витрат на проведення заходів серед сім'ї персоналії щодо необхідності енергозбереження в загальних соціальних витратах	m9
	Частка топ-менеджменту, що займає про активну поведінку щодо енергозбереження в загальній частки топ-менеджменту	m10

*Джерело: авторська розробка*

Для обчислення середнього значення ( $x_j$ ) та стандартного відхилення  $\sigma(x_j)$  застосовуємо формули [7]:

$$\bar{x}_j = \frac{\sum_{i=1}^m x_{i,j}}{m}, \quad (3.52)$$

$$\sigma(x_j) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (x_{i,j} - \bar{x}_j)^2}{m+1}} \quad (3.53)$$

Нормалізація даних дає змогу розрахувати узагальнюючий інтегральний показник оцінювання стимулювання персоналу щодо енергозбереження через його складові з відповідними ваговими коефіцієнтами.

Відповідні коефіцієнти впливу на узагальнюючий інтегральний показник оцінювання стимулювання персоналу щодо енергозбереження розраховують за формулою [7]:

$$K_1 = [(X_1^T \cdot X_1)^{-1} \cdot X_1^T]^T \cdot I_{stimul}, \quad (3.54)$$

де  $X_1$  – матриця показників;

$K_1$  – коефіцієнти впливу на узагальнюючий інтегральний показник оцінювання стимулювання персоналу щодо енергозбереження, який складається з відповідних груп засобів стимулювання персоналу;

$T$  – транспортування матриці показників засобів стимулювання щодо енергозбереження.

У формалізованому вигляді матриця засобів матеріального стимулювання щодо енергозбереження (Mater):

$$Mater = \begin{pmatrix} \text{corr}(m1, m1) & \text{corr}(m1, m2) & \text{corr}(m1, m3) & \text{corr}(m1, m4) & \text{corr}(m1, m5) \\ \text{corr}(m2, m1) & \text{corr}(m2, m2) & \text{corr}(m2, m3) & \text{corr}(m2, m4) & \text{corr}(m2, m5) \\ \text{corr}(m3, m1) & \text{corr}(m3, m2) & \text{corr}(m3, m3) & \text{corr}(m3, m4) & \text{corr}(m3, m5) \\ \text{corr}(m4, m1) & \text{corr}(m4, m2) & \text{corr}(m4, m3) & \text{corr}(m4, m4) & \text{corr}(m4, m5) \\ \text{corr}(m5, m1) & \text{corr}(m5, m2) & \text{corr}(m5, m3) & \text{corr}(m5, m4) & \text{corr}(m5, m5) \end{pmatrix} \quad (3.55)$$

Розрахунок матриці засобів матеріального стимулювання персоналу щодо енергозбереження (Mater), здійснено за допомогою пакету 'Data Analysis' MS Excel (табл. 3.37).

Таблиця 3.37

**Нормалізована матриця засобів матеріального стимулювання персоналу щодо енергозбереження**

Показники	m1	m2	m3	m4	m5
m1	1	-0,213	-0,089	0,557	0,142
m2	-0,213	1	-0,508	0,497	0,918
m3	-0,089	-0,508	1	-0,762	-0,673
m4	0,557	0,497	-0,762	1	0,796
m5	0,142	0,918	-0,673	0,796	1

Джерело: авторські розрахунки

Графічна інтерпретація групового інтегрального показника оцінювання матеріального стимулювання персоналу щодо енергозбереження подано на рис. 3.37.

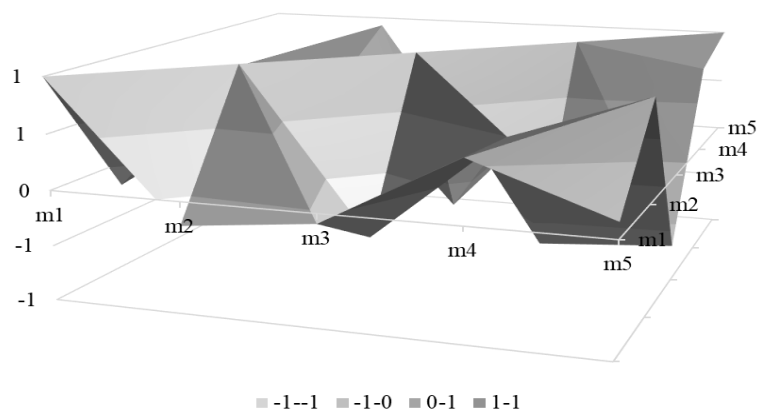


Рис. 3.37. Графічна інтерпретація групового інтегрального показника оцінювання матеріального стимулювання щодо енергозбереження персоналу (Mater)

Джерело: авторська розробка

За результатами розрахунку матриці матеріального стимулювання можна зробити висновок: найбільший прямий функціональний зв'язок існує між показниками "Частка середньої заробітної плати персоналу, що займається інноваціями з енергозбереження на підприємстві, до загальної суми фонду заробітної плати" (m2) та "Частка компенсаційних витрат при використанні засобів енергозбереження в загальній частці компенсаційних виплат персоналу" (m5), найбільший обернений функціональний зв'язок між показниками "Частка суми преміальних виплат за заходи з енергозбереження (економію світла, палива, тощо) до загальної суми преміальних виплат по підприємстві" (m3) та "Частка середньої заробітної плати персоналу, що займається інноваціями з енергозбереження на підприємстві, до загальної суми фонду заробітної плати" (m2).

У формалізованому вигляді матриця засобів соціального стимулювання щодо енергозбереження персоналу (Social):

$$\text{Social} = \begin{pmatrix} \text{corr}(m6,m6) & \text{corr}(m6,m7) & \text{corr}(m6,m8) & \text{corr}(m6,m9) & \text{corr}(m6,m10) \\ \text{corr}(m7,m6) & \text{corr}(m7,m7) & \text{corr}(m7,m8) & \text{corr}(m7,m9) & \text{corr}(m7,m10) \\ \text{corr}(m8,m6) & \text{corr}(m8,m7) & \text{corr}(m8,m8) & \text{corr}(m8,m9) & \text{corr}(m8,m10) \\ \text{corr}(m9,m6) & \text{corr}(m9,m7) & \text{corr}(m9,m8) & \text{corr}(m9,m9) & \text{corr}(m9,m10) \\ \text{corr}(m10,m6) & \text{corr}(m10,m7) & \text{corr}(m10,m8) & \text{corr}(m10,m9) & \text{corr}(m10,m10) \end{pmatrix} \quad (3.56)$$

Розрахунок матриці засобів соціального стимулювання (Social), здійснено за допомогою пакету 'Data Analysis' MS Excel (табл. 3.38).

Таблиця 3.38

**Нормалізована матриця засобів матеріального стимулювання персоналу щодо енергозбереження соціального стимулювання персоналу щодо енергозбереження**

Показники	m6	m7	m8	m9	m10
m6	1	0,896	0,513	0,903	-0,282
m7	0,896	1	0,390	0,657	-0,596
m8	0,513	0,390	1	0,736	0,402
m9	0,903	0,657	0,736	1	0,145
m10	-0,282	-0,596	0,402	0,145	1

Джерело: авторські розрахунки

Графічна інтерпретація групового інтегрального показника оцінювання соціального стимулювання щодо енергозбереження персоналу подано на рис. 3.38.

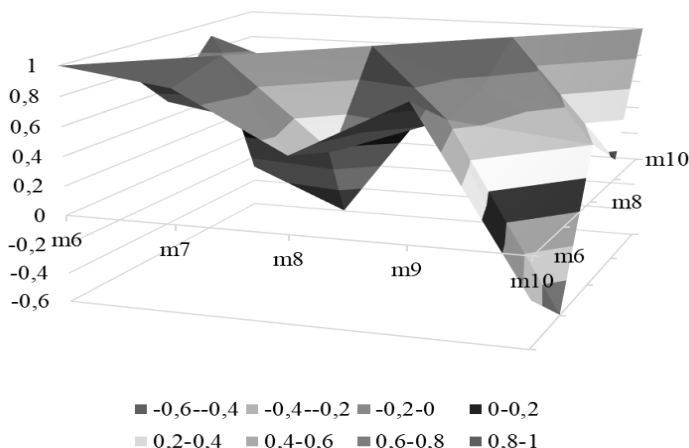


Рис. 3.38. Графічна інтерпретація групового інтегрального показника соціального оцінювання стимулювання щодо енергозбереження персоналу

*Джерело: авторська розробка*

За результатами розрахунку матриці соціального стимулювання можна зробити висновок: найбільший прямий функціональний зв'язок існує між показниками “Частка витрат на проведення тренінгів, семінарів щодо роз'яснення необхідності заходів з енергоефективності в загальних витратах на розвиток персоналу” (m6) та “Частка витрат на проведення заходів серед сім'ї персоналії щодо необхідності енергозбереження в загальних соціальних витратах” (m9), найбільший обернений функціональний зв'язок між показниками “Частка витрат на підвищення кваліфікації щодо робіт на новому енергоефективному обладнанні в загальних витратах на розвиток персоналу” (m7) та “Частка топ-менеджменту, що займає про активну поведінку щодо енергозбереження в загальній частки топ-менеджменту” (m10).

У контексті концепції енергозбереження як парадигми новітнього інформаційного суспільства розробка методологічної платформи дослідження механізму впровадження енергозберігаючих технологій є врахування “групових інтересів” агентів, що займаються генеруванням, транспортуванням, споживанням енергії, організують юридичний, економічний, соціальний та інший нагляд для вдосконалення категоріального апарату розгляду економічних процесів [8].

При аналізі та оцінці групових інтересів в ході впровадження енергозберігаючих технологій необхідно приділяти уваги таким проблемам, як виявлення функції соціального та економічного прояву інтересів груп. При цьому створюються передумови формування потреб та вимог окремих об'єднань людей. Тобто нагальним є виявлення таких функцій взаємодіючих груп, як прояву інтересів, інтеграції, адаптації та ін. Виявлення таких функцій необхідне для усунення деструктивної ролі при прояві групових інтересів та зменшення впливу односторонньої переваги тільки, наприклад, корпоративних інтересів енергогенеруючих компаній, насамперед таких, що формують напрям впровадження енергоефективних технологій.

### **3.22. Інституційні та економічні аспекти основних напрямів досліджень в області енергоефективності**

© **Однорог М. А.**

*к.е.н., доцент, докторант відділу теорії економіки і фінансів, Науково-дослідний фінансовий інститут ДННУ “Академія фінансового управління” Міністерства фінансів України, м. Київ, Україна*

Економічні та організаційні аспекти енергоефективності в даний час стають все більш популярною темою в українській науковій літературі. Вийшовши за рамки технічних наук, проблема енергозбереження і підвищення енергоефективності все частіше стає об'єктом уваги професійних економістів, менеджерів, соціологів, юристів, фахівців в галузі управління якістю та інших дослідників. Високий рівень конвергенції різних областей знань в питаннях досягнення енергоефективності не випадковий і пояснюється тим, що інновації в енергопостачанні зачіпають всі рівні сучасних соціально-технічних систем – від домогосподарств до геополітичних факторів, а сама енергія є таким же базовим благом, як вода, земля і повітря [1, с. 221].

Слід зазначити, що динаміка популярності наукової тематики енергоефективності в українській і зарубіжній науковій літературі дещо різна. Перший зліт популярності досліджень з енергоефективності в англомовній літературі стався ще в 1993 – 1994 рр., в той час як в україномовній літературі ця тематика практично не звучала. При цьому близько 33 % всіх досліджень з енергоефективності в англомовних джерелах виконано за тематикою менеджменту, економіки і з питань формування енергетичної політики, тоді як в україномовній літературі ця частка становить приблизно 29 %. Можливо, тому в даний час багато українських дослідників в області економіки і менеджменту тільки починають більш-менш впевнено орієнтуватися в тому величезному науково-методологічному літературному пласті, який був накопичений у світовій науці і практиці до часу актуалізації проблеми енергоефективності для України. Беручи до уваги той факт, що переважна більшість робіт по даній тематиці представлено на англійській мові, швидке скорочення існуючого розриву між українськими і закордонними дослідниками в теоретичних підходах, методах і кумулятивному обсязі накопиченого емпіричного матеріалу представляється проблематичним.

Метою авторського дослідження є проведення масштабного бібліографічного огляду англомовних наукових джерел за останніх 10 – 15 років з питань поширення енергоефективних технологій як інновацій, які зачіпають базис соціально-технічної системи, тому що вимагають міждисциплінарного підходу до дослідження і вивчення. В якості базової методології дослідження проблема обрана теорія розриву енергоефективності (energy-efficiency gap), що описує таку ситуацію в соціально-технічній системі, коли існуючі техніко-технологічні можливості підвищення енергоефективності (в тому числі за рахунок використання альтернативних джерел енергії), незважаючи на їх потенційну економічну ефективність, не використовуються повною мірою в силу ряду причин різного характеру. Такі причини в англомовних літературних джерелах прийнято досліджувати, використовуючи термінологію бар'єрів енергоефективності. Вибір цієї теорії в якості рамкової для цього огляду пояснюється тим, що вона відповідає реальній ситуації в сфері енергозбереження та енергоефективності, що склалася в Україні протягом останніх 5 – 7 років.

Огляд робіт з дослідження бар'єрів енергоефективності. Ще в середині 1970-х рр. дослідники звернули увагу на проблему вартісних (або ринкових) бар'єрів для широкого поширення енергоефективних технологій [2, с. 228], під якими стали розуміти будь-які ринкові фактори, що заважають підвищенню енергетичної ефективності економічного агента. Термінологія швидко поширилася тільки на наукову літературу, а й стала активно використовуватися при підготовці міжнародних аналітичних оглядів. Бар'єри ринку можна розділити на три основні групи: бар'єри, що виникають, коли ціни на енергію не є важливим фактором економічного розвитку; коли вони низькі по відношенню до інших товарів і послуг; коли ситуація на ринках капіталу перешкоджає інвестиціям в енергоефективні технології.

На початку 1990-х рр. з'являються більш чіткі ринкові класифікації цих бар'єрів [3, с. 164], які дають змогу розмежувати власне бар'єри ринку і провали ринку – ситуації повсюдного порушення принципів ефективного розподілу ресурсів, серед яких найбільш важливими є наступні [4, с. 84]:

– існує повний набір ринків з добре визначеними правами на власність, де продавці та покупці можуть вільно обмінюватися активами;

– споживачі і виробники максимізують прибуток і мінімізують витрати;

– ринкові ціни відомі всім споживачам і підприємствам;

– ціни транзакцій нульові.

Перша спроба систематизації і класифікації різних типів соціальних та інституційних бар'єрів комерційно ефективних технологій і способів енергозбереження була зроблена в роботі С. Blumstein зі співавторами в 1980 р. У цій статті авторами виділені наступні п'ять категорій бар'єрів енергоефективності:

– неузгодженість стимулюючих заходів: економічна вигода збереження енергії не завжди очевидна агенту, в чій обов'язки входить реалізація заходів щодо підвищення енергоефективності;

– недолік інформації: ефективність роботи ринку енергоефективних технологій залежать від наявності адекватної інформації про ці технології у його учасників;

– система регулювання: якщо економічно ефективна технологія або спосіб енергозбереження суперечить існуючим стандартам або правилам, їх реалізація буде скрутна або взагалі неможлива;

– структура ринку: економічно ефективні технології можуть бути не представлені на ринку або представлені в обмеженому доступі;

– традиції: якщо ефективна за вартістю міра або технологія вимагає зміни звичок споживача або суперечить якому-небудь загальноприйнятому принципу, вона може бути відкинута.

У наступних роботах по дослідженню бар'єрів енергоефективності автори, як правило, виділяють вартісні бар'єри. Наприклад, J. Painuly і B. Reddy розглядають бар'єри енергозбереження в електроенергетиці з боку попиту і пропозиції, розділяючи їх на наступні категорії: технічні, інституційні, фінансові, проблеми менеджменту, проблеми вартості, інформація.

У свою чергу L. Weber пропонує розділяти бар'єри на наступні узагальнені категорії: інституційні, ринкові, організаційні, поведінкові.

У 2000 р. вийшла одна з основних робіт S. Sorrell зі співавторами [8] з теорії бар'єрів енергоефективності, в якій на основі глибокого аналізу сформованого до цього часу масиву робіт з питань впровадження енергоефективних технологій запропонована найбільш повна таксономія, що чітко розмежовує ринкові і неринкові бар'єри, а також включає в розгляд проблем енергоефективності, як мінімум, два неекономічних бар'єру – поведінковий і організаційний. Розглянемо більш докладно.

Економічні бар'єри S. Sorrell. Цей вид бар'єрів підрозділяється на неринкові бар'єри і провали ринку. Під неринковими бар'єрами маються на увазі гетерогенність (неоднорідність) економічних агентів по відношенню до енергоефективних технологій, латентна (прихована) вартість впровадження технологій, утруднений доступ до капіталу і ризикованість інвестицій.

Бар'єр гетерогенності проявляється в тих випадках, коли ефективна для більшості підприємств технологія є неефективною для визначених класів користувачів. Крім того, такі класи користувачів, в свою чергу, самі є неоднорідними і складаються з різних споживачів, для яких одні і ті ж технології можуть мати різну ефективність за ціною [5, с. 26]. Причиною відмінностей можуть бути особливості енергетичних систем економічних агентів, що склалися протягом певного тимчасового проміжку, особливість енергоспоживання (наприклад, нетиповий характер добових або сезонних коливань енергоспоживання) і інші фактори.

Під прихованою вартістю впровадження енергоефективних технологій розуміється ситуація, коли інженерні та економічні дослідження не враховують таких витрат, як вартість проведення енергетичного аудиту, витрати на створення і підтримку системи енергетичного менеджменту, витрати на утилізацію раніше використовуваного обладнання, витрати на перенавчання персоналу і т. д. У такій ситуації широко рекламовані доступні ринкові ціни енергоефективних технологій не відображають реальної вартості їх впровадження.

Утруднений доступ до капіталу (особливо довгострокові запозичення) найчастіше є серйозною проблемою для малих і середніх підприємств не тільки по відношенню до впровадження енергосебегуючих технологій, але і для будь-яких проектів по модернізації наявної технологічної бази. Як показали порівняно недавні дослідження, ця проблема є актуальною в багатьох країнах світу. Даний бар'єр досліджується стосовно домогосподарствам; підсумком дослідження є пропозиція класифікувати його як інформаційний бар'єр в силу того, що кредитні організації відмовляють приватним особам і малим фірмам в довгострокових запозиченнях саме через недостатність інформації про фінансову стійкість позичальника.

Ризикованість інвестицій, як і попередній бар'єр, характерна не тільки для енергоефективних, але і будь-яких інших інноваційних технологій. Однак в разі енергоефективних технологій такі фактори зовнішнього середовища, як невизначеність цін на енергію, особливо в короткостроковому періоді, роблять значний вплив на очікування інвесторів і їх оцінку ризику.

Наступний клас економічних бар'єрів, що виділяються S. Sorrell зі співавторами, ідентифікований як провали ринку.

Недолік інформації про технічні параметри різних технологій, зокрема про енергетичну продуктивність, ініціює прийняття неоптимальних рішень покупцями і призводить до недостатніх інвестицій в енергетичну ефективність. Більш того, проблема ускладнюється тим, що, по-перше, енергоефективний продукт, технологія або послуга купуються порівняно рідко і використовуються тривалий час. Тому неоптимальний інвестиційний вибір веде до серйозних негативних соціальних і економічних наслідків. По-друге, швидкість зміни самої технології досить висока і тому оптимальний вибір на сьогодні може стати неоптимальним вже завтра. По-третє, потенціал і реальний результат енергозбереження часто складно оцінити в силу неоднорідного характеру експлуатації даної технології.

У разі, коли учасники транзакції мають різний доступ до інформації, створюється добре відома в економічній теорії ситуація асиметричності інформації, яка призводить до утворення двох нових бар'єрів: бар'єру неузгодженості мотивів і бар'єру несприятливого відбору. Неузгодженість мотивів, або, як ще називають цей бар'єр, неузгодженість стимулів, виникає, коли вигоди від енергозбереження отримують не ті економічні агенти або приватні особи, які прикладають зусилля або інвестують в енергозбереження. Наприклад, економічна вигода від енергозбереження окремих підрозділів організації проявляється тільки на рівні всієї організації, а самі підрозділи не отримують від цього ніякої відчутної користі. Або менеджери організації не зацікавлені у впровадженні енергоефективних технологій, так як економічний ефект їх впровадження є відкладеним, і тривалість часового горизонту окупності інвестицій в енергоефективність перевищує термін повноважень менеджера.

Існування несприятливого відбору обумовлено тим, що товари, якість яких неможливо оцінити до покупки, до куди входить більшість енергоефективних продуктів, технологій і послуг, є уразливими для несприятливого відбору. У цьому випадку вибір покупця або інвестора ґрунтується на видимих аспектах (наприклад, ціною), і покупці можуть відмовитися від більш ефективних рішень.

Незважаючи на те, що деякі з перерахованих специфічних форм провалів ринку були помічені S. Sorrell і його співавторами вперше, основний науковий внесок їх досліджень все ж полягає у визначенні та описі форм прояву поведінкових і організаційних бар'єрів.

Серед найбільш важливих поведінкових бар'єрів S. Sorrell виділяє бар'єр, пов'язаний з обмеженою раціональністю, теоретично і емпірично описаною в відомих роботах.

Ринок енергетичних послуг характеризується складним ціноутворенням. Інформація про особливості функціонування ринку енергетичних послуг і енергозберігаючих технологій є складною для сприйняття і обробки, не завжди доступною і представленою в звичному для споживача вигляді. Тому обмеження економічних агентів за часом, ресурсів і можливостей обробки інформації ведуть до підміни оптимальних рішень на задовільні по найбільш інформативним параметрам.

Слід зазначити, що даний бар'єр, виділений S. Sorrell, на перший погляд, дуже схожий на перераховані провали ринку – несприятливий відбір і в більш загальному розгляді – недолік інформації. Такої точки зору дотримується, наприклад, N. Euge. Однак S. Sorrell зі співавторами, ґрунтуючись на результатах декількох емпіричних досліджень європейських автомобілебудівних підприємств, підкреслює, що дане явище вважається лише відхиленням від логіки економічної раціональності при розрахунку норми прибутковості капіталу і терміну окупності інвестицій в енергоефективні технології.

Ще один інформаційний бар'єр, виділяється S. Sorrell як самостійна форма подання інформації. Цей бар'єр вважається вкрай важливим, тому що інформація повинна бути специфічною, персоналізованою, ясною, простою і близькою за часом до вирішення.

Довіра. В роботі [8] показано, що для успішної дифузії енергоефективних технологій необхідне джерело інформації, якому можна довіряти. Так як бар'єр довіри так чи інакше пов'язаний з інформацією і формою її подання, S. Sorrell підкреслює, що ці два види поведінкових бар'єрів важко розрізнити на практиці.

Інерція. Згідно з дослідженням [6, с. 182] інерція є наслідком різного ставлення до виграшу і втрат. Більшість економічних агентів прагнуть мінімізувати втрати, віддаючи перевагу менш ризикованим варіантам інвестицій з гарантованим доходом, ніж максимізувати виграш, вибираючи варіанти з невідомим результатом. Інерція може привести до того, що як фізичні особи, так і підприємства віддадуть перевагу status quo. Наприклад, постачальники можуть поставляти на ринок те, чого, на їхню думку, хочуть покупці. Тому на ринках з високим рівнем інерції може бути присутнім латентний попит на більш енергоефективні технології, ніж ті, що доступні на ринку.

Цінності. Важливим драйвером технологічної модернізації виробництва і переведення його на більш енергоефективні технології є ціннісні орієнтації топ-менеджерів підприємств і організацій. В першу чергу це стосується екологічних цінностей.

До організаційних бар'єрів (виділених в рамках теорії організації) S. Sorrell відносить ті, які перешкоджають впровадженню енергоефективних технологій всередині самих організацій і підприємств. Якщо розглядати компанії і корпорації як систему з взаємовідносинами і конфліктами між окремими людьми і підрозділами, які поділяють різні цінності і мають різну культуру, яка впливає на прийняття рішень, то можна виділити в якості окремих бар'єрів корпоративну культуру підприємства і конфлікт повноважень (влади).

Культура згідно роботі [7, с. 144] визначається як з'єднання знань, ідеології, цінностей, норм, законів і традицій, що характеризує соціальну групу. Культура являє собою важливу змінну в поясненні невдач і провалів впровадження енергоефективних технологій.

Наступні спроби створити нову, більш повну, класифікацію бар'єрів енергоефективності, хоча і внесли істотний внесок у розвиток теорії розриву енергоефективності, не привели до створення повної і бездоганно логічно вибудованої таксономії бар'єрів. Технологічні бар'єри в багатьох випадках можуть представляти важливу проблему, однак не належать до ситуації розриву енергоефективності, яка спочатку передбачає наявність економічно і технічно ефективних рішень. Ситуація неповного ринку енергоефективних технологій, що характеризується тим, що поширення деяких енергоефективних пристроїв або технологій на локальних ринках може стримуватися за рахунок протидії потужних конкуруючих фірм, взагалі кажучи, не є унікальною і цілком вписується в загальну теорію конкуренції (бар'єри входу на ринок).

Незважаючи на явний недолік робіт по бар'єрам енергоефективності, не можна не відзначити істотний науково-методологічний заділ, накопичений в українській літературі з питань подолання інших видів бар'єрів, які у багатьох випадках мають схожу природу з бар'єрами енергоефективності та зачіпають різні рівні соціально-технічних систем: бар'єри модернізації та інноваційного розвитку, бар'єри розвитку підприємницької діяльності, бар'єри розвитку регіональних економічних систем, бар'єри структурно-технологічних змін і т.д. Багато наявних науково-теоретичних напрацювань вже найближчим часом можуть бути вельми успішно застосовані до вирішення проблеми розриву енергоефективності та як наслідок – істотного скорочення енергоємності різних секторів національної економіки України.

Підводячи підсумок великому, хоча і далеко не повного огляду робіт, присвячених вивченню феномена розриву енергоефективності та бар'єрів енергоефективності, можна виділити наступні можливі напрямки досліджень, за якими вітчизняні вчені могли б внести істотний внесок у розвиток теорії та методології не тільки на українському, але і на світовому рівні:

- розробка відкритої класифікації бар'єрів енергоефективності, що дозволяє додавати нові види і класи бар'єрів до вже існуючих у міру їх відкриття і вивчення без зміни базової структури і ієрархії і виключає очевидні перетини між різними класами бар'єрів;

- розробка методів і показників кількісної оцінки інтенсивності прояву існуючих бар'єрів в різних практичних ситуаціях;

- дослідження явних і латентних залежностей між проявами бар'єрів різних класів;

- розробка організаційно-економічних, правових, інституційних та інших методів подолання різних класів бар'єрів, удосконалення політики держави в сфері енергозбереження та енергоефективності, розвиток систем енергетичного менеджменту.

### **3.23. Енергоефективність та енергозбереження в Україні: регіональні аспекти**

© **Помаз Ю. В.**

*к.і.н., доцент кафедри економіки підприємства,  
Полтавська державна аграрна академія, м. Полтава, Україна*

© **Помаз О. М.**

*к.е.н., доцент кафедри менеджменту,  
Полтавська державна аграрна академія, м. Полтава, Україна*

© **Єрмаков В. В.**

*к.геогр.н., доцент кафедри географії та методики її навчання,  
Полтавський національний педагогічний університет ім. В. Г. Короленка, м. Полтава, Україна*

Проблема енергоефективності та енергозбереження для України, яка характеризується загальним дефіцитом основних традиційних енергоресурсів, постійно зберігає свою актуальність. В умовах суспільно-політичної кризи останніх років питання енергетичної безпеки держави надзвичайно загострилося і, відповідно, набула нового значення проблема всебічного енергозбереження для потреб розвитку національної економіки.

Основна увага дослідників у галузі енергозбереження була спрямована на вивчення її економічних механізмів, стимулювання енергоощадливості, також досліджувалися різні технічно-побутові, екологічні, управлінські, фінансові та правові аспекти проблеми, зокрема використання нетрадиційних джерел енергії [1, 2, 10, 14]. Останніми роками почали з'являтися матеріали, в яких піддаються аналізу й регіональні особливості енергоефективності та енергозбереження [3, 11, 12, 16]. Але при цьому вивчення регіональних (суспільно-географічних) особливостей енергетики України та, відповідно, визначення потенційних можливостей енергоефективності та енергозбереження, здійснення відповідного галузевого районування території продовжують зберігати свою актуальність.

Проблема енергозбереження та раціонального використання енергетичного потенціалу має не тільки свої правові, технічні, побутові, галузеві, але й регіонально-географічні аспекти. Наразі надзвичайно актуальним є питання ефективності використання енергоресурсів у регіонах, оскільки спостерігаються істотні регіональні відмінності в даній сфері. Окрім безпосереднього розвитку енергетики та інших галузей економіки й населення країни, завдання забезпечення конкурентоспроможного рівня енергоефективності країни та її регіонів в умовах децентралізації постає як один із основних пріоритетів забезпечення сталого регіонального економічного розвитку [9, с. 4].

Суттєве підвищення енергоефективності є одним із ключових задекларованих пріоритетів державної економічної політики та політики забезпечення національної безпеки. Проте, реальний стан енергоефективності в Україні є вкрай незадовільним. Однією із основних загроз національній і енергетичній безпеці є недієва політика енергоефективності та енергозабезпечення.

Одним із зобов'язань, узятих Україною після підписання угоди про асоціацію з ЄС є відповідність високим європейським стандартам із енергоефективності та участь у енергетичному ринку. Виходячи з цього, пріоритетним напрямом державної енергетичної політики країни є підвищення енергоефективності та забезпечення енергозбереження. Реалізація завдання підвищення енергоефективності на рівні регіонів потребує одночасного врахування загальнодержавних цілей та регіональної специфіки розвитку.

Територіальна структура господарського комплексу України представлена різними її елементами, найбільшими з яких є економічні (суспільно-географічні) райони. Даний поділ відображає не лише



особливості спеціалізації окремих територій на основі поєднання певних чинників територіального розвитку. Кожний район має також свою специфіку розвитку галузей паливно-енергетичного комплексу, стану енергетичного господарства і структури енерговитрат, у тому числі й потенціалу енергозбереження.

Електроенергетика разом із паливною промисловістю складають одну з найважливіших базових галузей господарського комплексу країни, забезпечуючи розвиток і функціонування інших галузей виробничої та невиробничої сфер, комфортності побуту людей. Крім того, сучасні інтенсивні технології потребують розширення можливостей для енергоозброєності та енергозабезпеченості виробничих процесів, від чого залежить ефективність виробництва товарів та послуг, масштаби зростання продуктивних сил і національної економічної системи в цілому.

Сучасна електроенергетика є високорозвиненою і автоматизованою галуззю промислового виробництва, у собівартості кінцевої продукції якої висока частка матеріальних витрат при мінімальній частці витрат живої праці. Енергетика України представлена трьома основними типами електростанцій: тепловими, гідравлічними та атомними, з яких основна частка виробництва електроенергії припадає на теплові. Електростанції та енергоустановки на основі використання нетрадиційних джерел енергії в Україні поки що не чисельні, хоча за останні роки їхня кількість та інтерес до них зросли.

У територіальному аспекті головними регіонами розміщення підприємств, що виробляють електроенергію на сході країни є Дніпропетровська, Донецька, Запорізька, Харківська та Луганська області, на заході – Львівська та Івано-Франківська, в центральній частині – Київська області.

Загалом, Україна володіє значним потенціалом енергоресурсів, які наявні на більшій частині її території, але при цьому важливим моментом є правильне і раціональне його використання, зокрема, використання паливних ресурсів відповідно до реальних енергетичних потреб галузей і регіонів, забезпечення збалансованого виробництва з точки зору енергоспоживання.

Проблема енергозбереження тісно пов'язана з поняттям паливно-енергетичного балансу, тобто співвідношення між дохідною (видобуток природного палива і виробництво природних енергоресурсів – електричної і теплової енергії) та витратною його частинами (усі види споживання енергоресурсів, зокрема, перетворення на інші види енергії, виробничо-технологічні витрати, витрати на поповнення запасів, експорт та залишки у постачальників і споживачів під кінець року). Традиційно у структурі видобутку палива в Україні у 2000-х роках найбільшу частку становило вугілля (до 60 %), тоді як у структурі споживання переважав газ (до 54 %). У регіональному розрізі східний регіон країни споживав до 62 % газу, західний – до 32 % та південний – до 6 % [6, с. 128, 131].

Вугілля залишалося найбільш надійним енергетичним ресурсом в енергобалансі країни впродовж багатьох років незалежності України. Проте, з липня 2014 р. унаслідок захоплення частини території Донецького вугільного басейну найбільшими покладами антрацитового вугілля, швидкими темпами відбулося скорочення видобутку, що спричинило значний дефіцит вугілля. Останніми роками спостерігається скорочення рівня споживання природного газу. Зокрема, у 1990-х роках обсяг щорічного споживання природного газу становив близько 80 млрд. м<sup>3</sup>, на початку 2000-х років – 70 – 75 млрд. м<sup>3</sup>, у 2010 р. – близько 60 млрд. м<sup>3</sup>, у 2015 – 2016 рр. – дещо більше 30 млрд. м<sup>3</sup> [7, с. 19, 57].

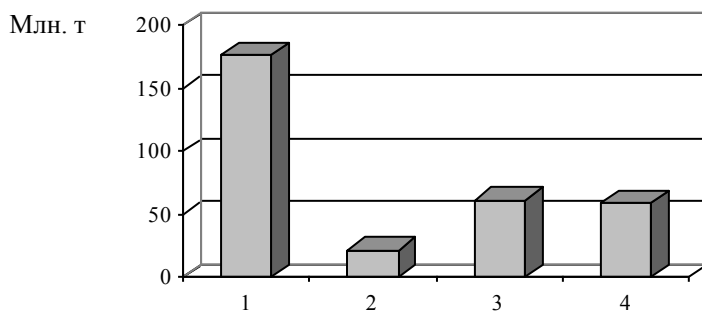
Труднощі розвитку української енергетики останніх років викликані низкою причин: дефіцитом окремих видів енергоресурсів, залежністю від російських постачальників; руйнуванням інфраструктури нафтогазової і вугільної промисловості; недостатньою готовністю до диверсифікації постачань окремих видів енергоресурсів за умов значних коливань високої волатильності цін на світових ринках; високим рівнем монополізації окремих функціональних і регіональних сегментів енергетичного ринку країни; неготовністю промисловості й споживчого ринку до зростання цін на енергоресурси, що спричиняє зниження рентабельності енергетичних галузей та викликає зростання соціально-політичної напруги в країні [7, с. 5].

Потенціал енергозбереження в Україні становить 27 млн. т н.е. (еквівалентно близько 12 млрд. євро у цінах 2010 р.), або 25 % кінцевого споживання усіх енергоресурсів [8, с. 37]. Основна його частина зосереджена в житловому секторі – 34 %, промисловості – 28 % та в секторі трансформації енергії на ТЕС (21 %). На сферу послуг і сільське господарство припадає, відповідно, 12 % та 4 % потенціалу енергозбереження, а на будівництво – близько 1 % сукупного енергозбереження через порівняльно незначний обсяг прямого енергоспоживання [4, с. 37].

За величиною показників енергоемності ВРП, природоємності ВРП і часткою впровадження альтернативних джерел енергії в кожному регіоні виділяють регіони з високим та низьким рівнем енергозбереження (Луганська, Донецька, Дніпропетровська, Запорізька області). Через суттєву диференціацію абсолютних значень частки енергетичних ресурсів, вироблених за допомогою відновлювальних джерел енергії на території регіонів, в першій групі виділяють дві підгрупи: регіони з

ефективним впровадженням заходів із енергозбереження (Львівська, Івано-Франківська, Волинська, Тернопільська, Київська, Житомирська, Чернігівська, Сумська, Харківська, Одеська, Миколаївська області), та регіони без впровадження заходів із енергозбереження (Рівненська, Хмельницька, Вінницька, Закарпатська, Чернівецька, Черкаська, Полтавська, Кіровоградська, Херсонська області, АРК) [12, с. 95 – 96].

За прогнозними даними загальний потенціал енергозбереження за рахунок технічного (технологічного) та структурного факторів у економіці України у 2030 р. за базовим сценарієм розвитку економіки та її сфер складатиме 318,36 млн. т у.п., у тому числі з урахуванням: галузевого технічного (технологічного) фактора – 175,93 млн. т у.п. (55,3 %); міжгалузевого технічного (технологічного) фактора – 22,13 млн. т у.п. (6,9 %); галузевого структурного фактора – 61,65 млн. т у.п. (19,4 %); міжгалузевого структурного фактора – 58,65 млн. т у.п. (18,4 %) [11, с. 168] (рис. 3.39).



- 1 – Потенціал галузевого енергозбереження за рахунок галузевого технічного (технологічного) фактора.
- 2 – Потенціал галузевого енергозбереження за рахунок міжгалузевого технічного (технологічного) фактора.
- 3 – Потенціал галузевого енергозбереження за рахунок галузевого структурного фактора.
- 4 – Потенціал галузевого енергозбереження за рахунок міжгалузевого структурного фактора.

Рис. 3.39. Загальний потенціал енергозбереження в 2030 р., млн. т у.п.

*Джерело: узагальнено авторами за даними [11, с. 169]*

Реалізація наявного в Україні та регіонах значного потенціалу енергоефективності дозволить зменшити витрати на енергоресурси й цим самим поліпшити технічне забезпечення галузей промисловості, позбутися залежності від експортованих джерел енергії, знизити виробничі витрати, підвищити конкурентоспроможність вітчизняної продукції на зовнішніх ринках та інвестиційну привабливість країни [15, с. 36, 39].

За даними “Моніторингу енергоефективності України 2016”, показник енергоефективності економіки України у 2014 р. становив 60 % від середнього рівня по країнам ЄС [5, с. 76]. Рейтинг енергоефективності областей базується на методології аналізу енергоефективності Міжнародного енергетичного агентства й визначає ефективність використання енергоресурсів у кожній області України з урахуванням структури економіки регіону.

Розраховані показники енергоефективності регіонів України вказують на значні відмінності в рівнях ефективності використання енергоресурсів регіонами України. Суттєва їх різниця пояснюється, головним чином, наявністю в областях із найнижчими показниками енергоефективності значної кількості енерговитратних та низько ефективних промислових виробництв [9, с. 4]. Найвищий рівень енергоефективності мають Закарпатська (64,3 %), Чернігівська (63,8 %), Вінницька і Донецька (62,9 %) області [15, с. 38].

Головними чинниками, що негативно впливають на енергоефективність української економіки є висока частка ресурсо- та енергоємних галузей у структурі економіки, зношеність основних фондів значної кількості підприємств й житлово-комунального господарства, застаріле обладнання та технології виробництва, недосконала законодавча база в сфері енергоефективності. Відсутність єдиної бази даних щодо використання енергетичних ресурсів не дозволяє здійснювати моніторинг й належний контроль існуючої ситуації.

Прийняті останніми роками ВРУ закони, спрямовані на підвищення рівня енергоефективності країни в цілому та її регіонів, безперечно, є суттєвим поступом у справі досягнення високого рівня енергоефективності. Проте, забезпечити реальний прогрес здатна лише їх оперативна реалізація. Незначні фрагментарні зміни не сприяли підвищенню регіонального рівня енергоефективності. Впровадження заходів із енергозбереження домогосподарствами, підприємствами й державними органами залишається низьким, а використання енергії – надмірним. Складна енергетична криза супроводжується загрозливою воєнно-політичною ситуацією в Україні та фінансовою кризою.

Забезпечити енергоефективний розвиток України можна шляхом запозичення досвіду енергозбереження передових країн світу, виконання міжнародних зобов'язань України в сфері енергозбереження, удосконалення законодавчої бази, зниження енергоємності економіки країни, покращення інвестиційного клімату в сфері енергоефективності й стимулювання інвестицій в дану галузь, створення конкуренції на ринку енергоефективності, стимулювання населення до реалізації енергоефективних заходів [4].

Енергетична стратегія України на період до 2035 р. як базовий документ державної енергетичної політики передбачає мінімізацію імпортової залежності за рахунок оптимізації внутрішнього споживання, доведення до максимуму власного видобутку різних типів палива, створення стратегічних резервів, диверсифікацію джерел і шляхів постачання енергоресурсів та захист критично важливої енергетичної інфраструктури [13].

Енергетичний комплекс України потребує серйозних системних перетворень у бік оптимізації паливно-енергетичного балансу регіонів та всебічного енергозбереження. Подальший стійкий соціально-економічний розвиток України тісно пов'язаний зі станом усіх складових паливно-енергетичного комплексу, вдосконаленням паливно-енергетичного балансу, зокрема, з підвищенням частки нетрадиційних енергоресурсів у ньому, впровадженням нових виробничих технологій, всебічним енергозбереженням, у тому числі на регіональному рівні. Важливою складовою частиною таких заходів можуть стати суспільно-географічні дослідження енергетичного комплексу України, потенціалу енергоефективності й енергозбереження та відповідне спеціальне галузеве районування. Врахування специфіки розвитку регіонів поряд із узгодженням основних цілей та механізмів їх досягнення на регіональному та державному рівнях мають стати основним принципом реалізації політики енергоефективності та енергозбереження в регіонах країни.

### 3.24. Промислова політика енергозбереження та енергоефективності на засадах сталого розвитку та економічного націоналізму

© Денисов К. В.

*к.е.н., викладач кафедри міжнародної економіки, природних ресурсів і економічної теорії, Запорізький національний університет, м. Запоріжжя, Україна*

Світ перебуває на межі четвертої промислової революції з нано- та біотехнологіями, 3D-принтерами, роботизацією, домінуванням VI-го технологічного укладу. Натомість промисловість України на межі III-го та IV-го укладів із традиційними галузями – хімія, металургія, машинобудування, енергетика. Їх основні засоби фізично та морально застаріли, ступінь їх зносу у переробній промисловості досяг 76,4 %; по окремих галузях незабаром сягне 100 %. Рівень оновлення основних засобів заледве перевищує 2 %, а рівень вибуття і того менше – 1,27 % (рис. 3.40).

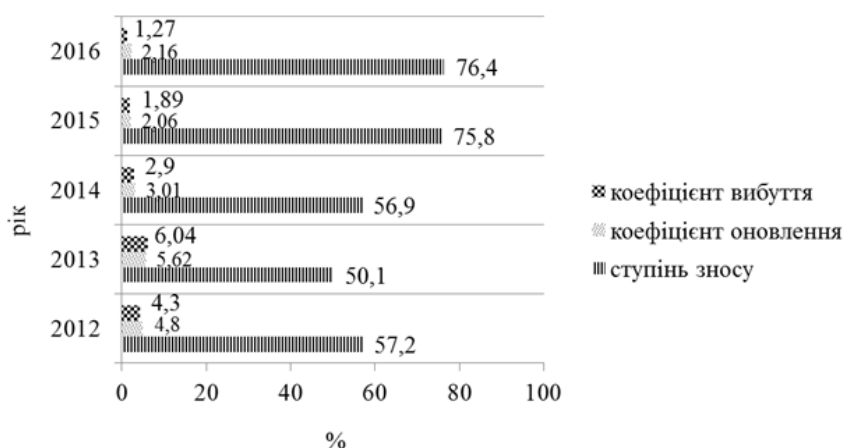
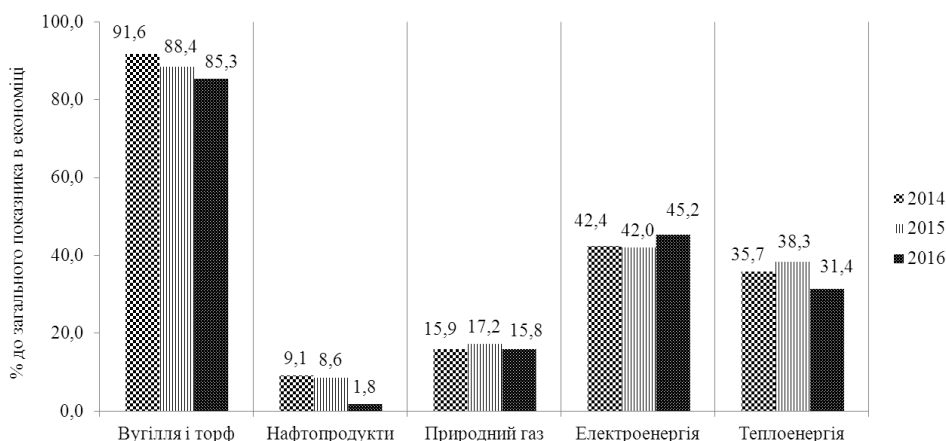


Рис. 3.40. Основні фонди у переробній промисловості України, 2016 р.

Джерело: [1]

Такі показники є причиною основних проблем, які переробна промисловість створює для національної економіки – вкрай висока енергоємність виробництва, високе техногенне навантаження, низький рівень соціальних стандартів працюючих українців. Стисло визначимо конкретні показники цих проблем. Промисловість споживає 33 – 34 % усієї енергії в країні, головним чином – природний газ, електро- та теплоенергія (рис. 3.41).



**Рис. 3.41. Споживання енергетичних ресурсів  
промисловими підприємствами України, 2014 – 2016 рр.**

*Джерело: [2]*

Експлуатація старого обладнання пов'язана з високими проміжними втратами енергії, сировини, а також видатками на його обслуговування (у т.ч. екологічне). Всі ці витрати підприємства закладають у ціну власної продукції, підвищувати яку постійно не можуть через високу конкуренцію, зокрема на зовнішніх ринках експортної продукції. Тому їх власники-олігархи заощаджують на заробітній платі працівників, частка якої у собівартості промислової продукції скоротилася у 2015 р. до 9,3 % (проти 10,7 % у 2012 р.). Цікавий факт – за цей період фонд оплати праці у переробній промисловості зріс на 2,64 млрд. грн., а матеріальні витрати на 196,6 млрд. грн. [3]. У цілому по економіці України частка оплати праці в ціні готової продукції становить 6 % проти 45 % у країнах Західної Європи [4].

Складається цікава ситуація – власники промислових підприємств визнають високі ціни на енергоносії, сировину та матеріали головними факторами, що обмежують їхні виробничі можливості (у середньому це відзначають 60 % опитаних респондентів) [5]. І в той же час – жодним чином не активізують свою інноваційну активність; кількість промислових підприємств з інноваціями скоротилася у 2,1 рази. Хоча майже на третину зросла кількість впроваджених нових ефективних (маловідходних і ресурсозберігаючих) технологічних процесів [6]. Мета цих заходів проста – знизити собівартість виробництва та збільшити прибутки, жодних дійсно інноваційних чи соціальних цілей.

Зі свого боку, держава за роки Незалежності також не вживала кардинальних заходів щодо інноваційного розвитку промислового комплексу. Більшість ухвалених документів були і залишаються декларативними, а реалізовані на практиці заходи обернулися збитками для бюджету та антидемпінговими розслідуваннями на світових ринках. На прикладі металургійної галузі: податкові пільги (визначені Законом України “Про проведення економічного експерименту на підприємствах гірничо-металургійного комплексу України” та Законом України “Про подальший розвиток гірничо-металургійного комплексу”) 1999 – 2002 рр. “обійшлися” бюджету у 8,8 млрд. грн. і 32 антидемпінгових розслідування; фіксація транспортних тарифів (визначена Постановою Кабінету міністрів України “Про першочергові заходи зі стабілізації ситуації, що склалася в гірничо-металургійному і хімічному комплексі”), впродовж періоду 2008 – 2010 рр., у 2 млрд. грн. [7].

Надані у 1999 – 2002 рр. податкові пільги мали всі ознаки експортної субсидії у вигляді “надання відстрочок щодо податків, зборів, платежів, відрахувань з виробництва та подальшого експорту продукції”. Такі субсидії включені до переліку заборонених, відповідно до Додатку 1 Угоди СОТ “Про субсидії та компенсаційні заходи” [8]. Будь-яка країна-член СОТ матиме ґрунтовні аргументи на користь запровадження компенсаційних заходів проти українських промислових підприємств-отримувачів таких субсидій. Достатньо буде порівняти натуральні (фізичні) обсяги виробництва та експорту промислової продукції за допомогою даних Державної служби статистики України.

Так само забороненими експортними субсидіями вважаються пільги на вантажні перевезення чи переробку експортної промислової продукції, які надавалися металургійним і хімічним підприємствам у 2008 – 2010 рр. Саме тому, починаючи з 1 липня 2010 р., щоправда згідно Меморандуму про співпрацю з МВФ, Кабінет Міністрів України скасував дію преференційних тарифів на послуги державних монополій для підприємств гірничо-металургійної галузі [7, с. 167].

Досвід зарубіжних країн налічує десятки моделей промислової політики, які обов'язково враховували місцеву специфіку, традиції та особливості. Саме тому для України неприйнятними є загально-ліберальні рекомендації на кшталт “тотальна приватизація”, “дерегуляція”, “вільне

ціноутворення” тощо. Країни, які на початку 1990-х мали однаковий з Україною стан промислового комплексу, за останні 25 років провадили активну промислову політику в напрямку структурних зрушень, екологізації, енергоефективності, енергозбереження, переходу до виробництва продукції з глибокою переробкою та високою доданою вартістю. При цьому окремі заходи їх урядів були далекими від ліберальних, жорстко скеровуючи діяльність великого приватного капіталу в інтересах національних економік. Особливо цікавим є досвід Китаю, який через активну промислову політику значно підняв рівень розвитку власної металургії та машинобудування. Економічні важелі впливу поєднувалися з адміністративними, підпорядковуючись стратегічним цілям і пріоритетам п’ятирічних планів.

Єдине, що маємо враховувати – вимоги, правила та стандарти СОТ, адже їх ігнорування вже призводило до торговельних обмежень проти вітчизняної промислової продукції на світових ринках. Це стосується зокрема державного фінансування тактичних і стратегічних проектів, різноманітні моделі якого пропонуються в управлінському, науковому та експертному середовищі. До того ж, пряме річне бюджетне фінансування промисловості не перевищує 0,06 % усіх видатків зведеного бюджету України (за даними Міністерства фінансів орієнтовно це становить 300 млн. грн.) [9].

Отже, виникає потреба розробки національної моделі промислової політики, насамперед за напрямком енергозбереження та енергоефективності, яка вбере у себе кращий світовий досвід, враховуватиме українські реалії, а також забезпечить сталий розвиток української нації та економіки.

У зв’язку з цим, пропонуємо розглядати промислову політику як комплекс заходів економічної політики держави, який враховує стратегічні орієнтири інноваційного розвитку на засадах ефективного використання податкового та тарифного інструментарію активізації структурних зрушень, що дозволяє забезпечити новий рівень участі країни в міжнародному поділі праці.

Основою для нової промислової політики слід обрати економічний націоналізм, перед яким постають наступні завдання:

- кардинальний злам існуючого технологічного укладу та товарної структури виробництва промислової продукції з високою доданою вартістю на сучасних технологіях та обладнанні;
- реалізація масштабних проектів з енергозбереження, особливо в контексті перманентних газових війн з боку Російської Федерації;
- прискорений перехід до екологічно чистого “зеленого” виробництва;
- створення нових робочих місць за рахунок розширення товарного асортименту випуску продукції, у т. ч. через імпортозаміщення;
- превентивний захист національного виробника від антидемпінгових і компенсаційних заходів на світових ринках [10].

Розглянемо детальніше шляхи вирішення поставлених завдань. Сучасні технології дозволяють одночасно вирішувати екологічні та енергетичні проблеми промислового виробництва, відтак слід спрямувати зусилля саме на їх впровадження. Перевага має надаватися вітчизняним аналогам задля стимулювання власного машинобудування, яке критично залежить від експорту до Російської Федерації. Державі необхідно стимулювати попит і пропозицію на ринку екологічного та енергоощадного обладнання та технологій, використовуючи при цьому інструменти, які дозволені правилами СОТ – допомога в НДДКР, фінансування програм із адаптації обладнання до нових вимог природоохоронного законодавства, реалізація проектів регіонального розвитку. При цьому необхідно враховувати помилки минулих років, коли державна допомога елементарно “проїдалася” олігархами.

Заощаджені за рахунок нового обладнання ресурси мають спрямовуватися на капітальні інвестиції в подальший розвиток, але насамперед – у підвищення реальної заробітної плати. Необхідно змінити структуру собівартості готової продукції, наближуючи її до стандартів розвинутих країн. Потенціал цього вельми суттєвий [11]. Економічний націоналізм тут проявлятиметься через зростання добробуту працюючого українця, його купівельної спроможності щодо вітчизняних промислових товарів, виробники яких будуть менше залежати від зовнішніх ринків і через високий попит найматимуть собі нових працівників.

Постає логічне питання пошуку джерел фінансування таких проектів і способів зацікавлення приватного бізнесу в їх реалізації на благо української нації. Значна частина авторів пропонують стандартний набір – кредити, податкові митні пільги, державні замовлення на продукцію, бюджетне стимулювання НДДКР, державні цільові програми тощо.

Такі методи або вже показали свою неефективність або є нереальними з огляду на поточний економічний стан бюджету та держави. Не слід також забувати обмеження, накладені на Україну правилами та Угодами Світової Організації Торгівлі щодо субсидіювання промислових підприємств-експортерів, а такими є значна частка у базових галузях вітчизняного індустріального комплексу (табл. 3.39).

**Методичні підходи до формування промислової політики  
розвитку виробничо-технологічної бази ч/м України**

Методичний підхід	Потенційні наслідки
Лібералізація імпорту обладнання	1. Скорочення доходів бюджету від зниження ввізних мит 2. Уповільнення розвитку місцевої науки 3. Зменшення внутрішнього виробництва обладнання 4. Посилення залежності від технологічного імпорту
Зменшення оподаткування прибутку, який інвестується в інноваційні процеси	1. Збільшення обігових коштів підприємств 2. Розширення можливостей для інвестицій 3. Зменшення доходів бюджетів
Кредитування інноваційних проектів на підприємствах	1. Збільшення обігових коштів підприємств 2. Розширення можливостей для інвестицій 3. Збільшення боргового навантаження на підприємства
Державне фінансування НДДКР	1. Розвиток місцевої науки 2. Зменшення технологічного та сировинного імпорту

*Джерело: [7, с. 117]*

Для прикладу, наразі до стадії практичної реалізації дійшла лише одна “Державна цільова економічна програма енергоефективності і розвитку сфери виробництва енергоносіїв з відновлювальних джерел енергії та альтернативних видів палива на 2010 – 2017 роки”, але вона головним чином стосується енергозбереження у побутовому секторі [12]. Стратегічно важливі документи, як то щорічне Послання президента до Верховної ради України [13] або Програма діяльності уряду [14], містять загальні фрази про інноваційний розвиток промисловості, практична реалізація яких знову ж таки впирається в обмеженість бюджетних ресурсів.

Держава має спонукати бізнес забезпечувати структурні зрушення в промисловості за напрямками економічного націоналізму. Великий тлумачний словник сучасної української мови розкриває поняття “спонукати” наступним чином: а) стимулювати – створювати, давати стимул чи бути стимулом до чого-небудь; прискорювати, посилювати, поліпшувати здійснення чого-небудь; б) сприяти – позитивно впливати на що-небудь; створювати відповідні умови для здійснення, виконання чого-небудь; подавати допомогу в чому-небудь; бути причиною, наслідком виникнення, існування чого-небудь; створювати, викликати бажання виконувати яку-небудь дію; в) спонукати – викликати у кого-небудь бажання робити що-небудь; змушувати, схилити, заохочувати до якоїсь дії, певного вчинку [15].

Перспективним є застосування нового механізму повернення державою ПДВ, яке передбачене відповідними нормами діючого Податкового кодексу. Відшкодування ПДВ слід проводити виключно на цілі інноваційного розвитку промислових підприємств, тобто на оновлення основних фондів і запровадження сучасних технологій енергозбереження та енергоефективності. Наведений підхід передбачає реалізацію принципу “батоба та пряника”, коли держава надає всебічну підтримку інноваційним проектам, але жорстко та цілеспрямовано регулює їх запровадження.

Варіант перший – покриття витрат з імпорту обладнання, техніки та технологій. Оплата імпортованих контрактів нестиме негативний ефект для економіки в короткостроковому періоді (виток валюти закордон, тиск на обмінний курс, скорочення міжнародних резервів), на відміну від іншого чинника. За таких умов уповільниться розвиток внутрішнього сектору НДДКР. Приклад негативного впливу нарощування імпорту техніки і технологій для потреб національної промисловості наводить Геєць В., аналізуючи досвід промислової політики Канади. Тамтешній уряд активно стимулював імпорт техніки і технологій, забезпечуючи тим самим прискорення інноваційного розвитку місцевої промисловості. Це призвело до скорочення внутрішнього сектору НДДКР, на повноцінне відновлення якого знадобився тривалий період часу [7, с. 120].

Лібералізація імпорту обладнання для металургійної галузі може негативно вплинути на внутрішнє виробництво даної продукції. У ході дослідження проблем структурної перебудови вітчизняної економіки, Біла С. доходить висновку, що ліквідація чи обмеження внутрішнього виробництва галузей машинобудування створює небезпеку довічного відставання України в промисловому розвитку [7, с. 122].

Наголос має робитися на тих проектах, які передбачають придбання та введення в експлуатацію вітчизняного енерго- та ресурсозберігаючого, екологічного обладнання, нових виробничих ліній, сучасних технологій переробки сировини та випуску готової продукції. Такий підхід містить у собі всі без виключення елементи економічного націоналізму, про який вище йшла мова.

Таким є другий варіант промислової політики енергозбереження та енергоефективності. Це створить умови для активізації внутрішнього ринку металургійної та машинобудівної продукції, які є

основними галузями переробної промисловості в Україні. Нове обладнання дозволить налагодити випуск імпортозамінної продукції, насамперед інвестиційних товарів і товарів тривалого користування, більшість з яких сьогодні купується в інших країнах. Розвиток власного виробництва неминуче призведе до появи нових робочих місць та підвищення рівня оплати праці у промисловості та національній економіці в цілому.

Фінансування заходів із реалізації інноваційних проектів за рахунок цільового відшкодування ПДВ відбуватиметься в межах тих коштів, які згідно Податкового кодексу як дебіторська заборгованість мають повертатися підприємствам з бюджету. Змінюється лише порядок відшкодування цих коштів. За рахунок такого механізму держава може без жодних обмежень (а вони встановлені правилами СОТ) фінансувати інноваційні проекти у промисловості за напрямками створення та введення в експлуатацію нового обладнання та технологій або модернізації наявних потужностей згідно вимог екологічного законодавства. Жодна країна – учасник СОТ не зможе висловити свої претензії Україні за порушення стандартів допомоги промисловим підприємствам, а відтак – запровадити у відповідь обмежувальні заходи у вигляді квот чи додаткових мит. Взяті Україною на себе міжнародні зобов'язання дають всі можливості ефективно захищати національні торговельні та економічні інтереси, забезпечуючи рівноправну участь вітчизняного виробника на глобальних ринках.

Позитивний ефект від реалізації запропонованого механізму досягатиметься виключно у випадку зміни податкового законодавства в сторону стимулювання технічного та технологічного переозброєння металургійних підприємств. Мова іде про зміну принципів амортизаційної політики, яка має стати фінансовим джерелом інвестицій, а не інструментом латання “фінансових дірок”. Крім того, має запрацювати новий механізм податкового стимулювання інвестицій в науково-технічну сферу. Не менш важливі зміни повинні відбуватися в грошово-кредитній політиці щодо забезпечення реального сектору економіки дешевими кредитами для фінансування структурних зрушень.

Наведені принципи мають лягти в основу української національної моделі промислової політики, створеної на засадах економічного націоналізму та спрямованої на сталий розвиток української держави та нації. Усі зацікавлені сторони – держава, бізнес, суспільство – мають усвідомити необхідність структурного прориву національної промисловості як фактору власного виживання на світовій економічній арені в умовах жорсткої конкуренції та загрози втрати суверенітету. Це має стати ідеєю, навколо якої всі згуртуються та об'єднають свої зусилля в інтересах сталого розвитку України та української нації.

“Націоналізм, свідомий своєї ролі, дотримується правила, що порядний громадянин підкорює свої почуття, інтереси та схильності добру Батьківщини. Він знає, що Батьківщина – це абсолютна умова його власного благополуччя й благополуччя його співвітчизників” – писав Ш. Моррас [16]. Для цього суспільство, влада та бізнес мають сповідувати принципи соціальної та національної справедливості, бути свідомими необхідності розбудови Української Самостійної Соборної Держави та готовими до консолідації навколо глобальних ідей “Українська держава” та “Велика Україна”.

### **3.25. Використання засобів маркетингу у стимулюванні енергозбереження та енергоефективності**

© Алдохіна Н. І.

*к.е.н., доцент, ст. викладач кафедри маркетингу,  
Полтавська державна аграрна академія, м. Полтава, Україна,*

© Комаріст О. І.

*к.е.н., доцент, доцент кафедри маркетингу,  
Полтавська державна аграрна академія, м. Полтава, Україна*

Загальновідомо, що зростання виробництва і споживання енергії нерозривно пов'язані з прогресом людського суспільства. На протязі всієї своєї історії, а особливо – останнього століття, людство неекономно використовує майже всі види енергоресурсів і, водночас, веде боротьбу за збільшення свого енергетичного багатства: за енергію, за її джерела, за відкриття нових способів її видобування та перетворення. Наразі питанням економного використання енергоресурсів приділяється велика увага у більшості країн світу через різке збільшення витрат на їх видобування і виробництво, а також високу вартість нафти та газу на світовому ринку. І для України проблема енергозбереження є актуальною вже не перший рік. Висока енергомісткість виробництва призводить до високої питомої ваги витрат енергоресурсів у структурі валових витрат на виробництво продукції, що загалом впливає на конкурентоспроможність більшості вітчизняних продуктів та промислових підприємств.

Сьогодні рівень споживання енергії на опалення в Україні є в середньому у 7 разів вищим за середньоєвропейські норми, а енергомісткість валового внутрішнього продукту є приблизно у 3,5 рази вищою порівняно з країнами ЄС. За результатами дослідження, опублікованого у 2016 р., показник енергоефективності економіки України в цілому підвищується і прямує до рівня близько 60 % від середнього рівня країн Європейського Союзу (ЄС), у промисловості спостерігається його зростання, натомість у сільському господарстві та секторі послуг – менш значне, але падіння. У житловому секторі та генерації енергії на теплових електростанціях енергоефективність залишилася без змін [4].

Табл. 3.40, 3.41 містять дані щодо енергоємності, енергоспоживанню взагалі та відновлюваних джерел, а також постачанню первинної енергії в Україні за останні роки [9], член президії Асоціації операторів розподільчих електромереж України у публікації від 30 січня 2017 р. наводить наступні цифри. Питомі енерговитрати України на 1 долар ВВП році перевищують аналогічні показники Великобританії – майже в 5 разів, Туреччини – 4, Польщі – 3, Білорусії – 1,8, Російської Федерації – в 1,3 рази. А обсяги споживання газу в Україні в 2013 р. були більшими, ніж у Польщі, Бельгії, Чехії, Швеції, Норвегії, Латвії та Естонії разом узятих [9].

Таблиця 3.40

**Динаміка показників енергоємності, енергоспоживання та енергопостачання, 2010 – 2016 рр.<sup>1)</sup>**

Показники	Значення показника по роках						
	2010 р.	2011 р.	2012 р.	2013 р.	2014 р.	2015 р.	2016 р.
ВВП за ПКС 2011, млрд. дол. США	358,9	378,5	379,4	379,3	354,5	319,8	327,2
Кінцеве енергоспоживання							
Кінцеве енергоспоживання, тис. т н.е.	74004	75852	73107	69557	61460	50831	51645
Енергоємність, т н.е./тис. дол. США	0,206	0,2	0,192	0,183	0,173	0,159	0,158
Загальне постачання первинної енергії							
Загальне постачання первинної енергії, тис. т н.е.	132308	126438	122488	115940	105683	90090	91658
Енергоємність, т н.е./тис. дол. США	0,368	0,334	0,322	0,305	0,298	0,282	0,280

<sup>1)</sup> 2014 – 2016 рр. без урахування тимчасово окупованої території Автономної Республіки Крим і м. Севастополя та частини зони проведення АТО

*Джерело: [13]*

Подібні результати дав і моніторинг Корреспондент.biz (публікація від 1 липня 2016 р.). Енергоефективність України у порівнянні з результатами попереднього року збільшилася на 1,8 % і становила 60 % від рівня ЄС, проте темпи зростання є занадто повільними. У цілому потенціал енергозбереження (у сільському господарстві, промисловості, сфері послуг і будівництві, житловому секторі та трансформації на ТЕС) оцінюється в більш ніж 27 млн. т нафтового еквівалента, що відповідає майже 30 млрд м<sup>3</sup> природного газу. Це приблизно в півтора рази вище, ніж імпорту газу в Україну у 2014 р. При цьому по третині потенціалу енергозбереження (по 33 %) припадає на промисловість і житловий сектор. Ще одна третина потенціалу припадає на сектор трансформації електроенергії на ТЕС і сектор послуг – по 22 % і 11 % відповідно.

Енергоефективність у житловому секторі зросла на 2,9 %, а головним рушійним фактором стало зниження споживання газу населенням після підвищення на тарифів в травні 2014 р. Водночас в промисловості енергоефективність знизилася на 3,1 %. Автори дослідження пов'язують це, у першу чергу, з початком військового конфлікту на Донбасі, що, звичайно, не може оцінюватись та використовуватись як адекватний мотив і чинник росту енергоефективності. В середині сектору істотне зростання енергоефективності було відзначено в харчовій та хімічній галузях, а також у виробництві неметалевих мінеральних виробів. Але це зростання було повністю перекрите зниженням енергоефективності в металургії на 8,5 % (на яку припадає 2/3 кінцевого енергоспоживання в секторі) через повну зупинку або зниження використання виробничих потужностей на Донбасі.

У генерації енергії на теплових електростанціях енергоефективність залишалася без змін від потенційно ефективного рівня. При цьому українські ТЕС витрачають в півтора рази більше вугілля на виробництво одного кВт/г електроенергії в порівнянні із сучасними вугільними станціями в ЄС.



Таблиця 3.41

Енергоспоживання на основі відновлюваних джерел, 2010 – 2016 рр.<sup>1)</sup>

Показники енергоспоживання	2010 р.	2011 р.	2012 р.	2013 р.	2014 р.	2015 р.	2016 р.
Загальне постачання первинної енергії, тис. т н.е.	132308	126438	122488	115940	105683	90090	91658
у тому числі:							
Гідроенергетика, тис. т н.е.	1131	941	901	1187	729	464	660
у % до підсумку	0,9	0,7	0,7	1,0	0,7	0,5	0,7
Енергія біопалива та відходи, тис. т н.е.	1476	1563	1522	1875	1934	2102	2832
у % до підсумку	1,1	1,2	1,2	1,6	1,8	2,3	3,1
Вітрова та сонячна енергія, тис. т н.е.	4	10	53	104	134	134	124
у % до підсумку	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1
Загальне постачання енергії від відновлюваних джерел, тис. т н.е.	2611	2514	2476	3166	2797	2700	3616
Частка постачання енергії від відновлюваних джерел, %	2,0	2,0	2,0	2,7	2,6	3,0	3,9

<sup>1)</sup> 2014 – 2016 рр. без урахування тимчасово окупованої території Автономної Республіки Крим і м. Севастополя та частини зони проведення АТО

Джерело: [13]

У секторі послуг енергоефективність виросла на 3,8 %, у будівництві – на 3,5 %, у сільському господарстві – на 45 %. Головною причиною зльоту в енергоефективності в сільському господарстві стало різке зростання доданої вартості на тлі вдалого маркетингового року, у той час як використання енергоресурсів на один гектар посівних площ зменшилося на 7 %.

У цілому потенціал енергоефективності України оцінюють в 10,1 млрд дол. США в цінах 2014 р. Однак скорочення розриву з енергоефективності з країнами ЄС відбувається занадто повільно: такими темпами Україні буде потрібно як мінімум 30 років, щоб досягти рівня енергоефективності ЄС 2012 р. [5].

Усе вищезгадане значно ускладнює в коротко – та середньостроковій перспективі досягнення належного рівня конкурентоспроможності вітчизняного продукту на світових ринках, особливо головних складників українського експорту – металу, продуктів хімічної та нафтохімічної промисловості, важкого машинобудування тощо. У свою чергу, це перешкоджає участі України у світовій торгівлі, обмежує можливість залучення іноземних інвестицій та технологій для модернізації економіки [15].

Незважаючи на величезний потенціал і комерційну привабливість перспектив реалізації комплексних реформ з енергозбереження, за останні роки Україні так і не вдалося зробити істотний дієвий крок в даному напрямку. Причин тому безліч. На думку члена Президії Асоціації оперторів розподільчих електромереж України Олександра Киричка, головний камінь спотикання лежить на роздоріжжі інтересів протидіючих політичних еліт і фінансово-промислових груп [9]. За його словами, всі політики і бізнесмени усвідомлюють, що ефективно використання енергії в настільки потужній з точки зору споживання енергоресурсів країні, як Україна, здатне щорічно приносити багатомільярдний гарантований прибуток. Енергозбереження знижує паливо-енергетичну складову в собівартості вироблених продукції або послуг. В Україні існує значний потенціал енергозбереження. До того ж, ринок енергозбереження різноманітний, він може розвиватися у багатьох напрямках. В більшості розвинених країн світу енергозбереження стало вагомим джерелом прибутку фінансово-промислових груп. Звідси й підвищений інтерес до теми енергозбереження українських політиків. Біда ж наших політиків і фінансово-промислових груп в тому, що, розмірковуючи про енергозбереження, вони націлені не на вливання в енергозбереження власних інвестицій, які згодом окуплять витрати і принесуть прибуток, а на досягнення миттєвого результату за рахунок використання бюджетних коштів. У той же час світова практика показує, що швидкий результат в енергозбереженні може бути досягнутий лише в 10 % випадків. Політики та фінансово-промислові групи вкладати свої гроші не хочуть, а державний бюджет такі витрати дозволити собі не може. Не менш значуща і проблема відсутності комплексності у вирішенні проблем українського енергозбереження, відсутність цільового критерію і непослідовності дій. Ще один корінь енергетичних бід України криється в традиційній відсутності “спадкоємності” у мінливої політичної еліти щодо перспективних напрацювань своїх попередників. Іноземні інвестори не звикли до настільки тотальної відсутності верховенства права та швидкій зміні економічної політики в галузі енергозбереження. Подібна політична непослідовність і непередбачуваність насторожує і відверто лякає їх. Недостатня законодавча захищеність вкладених

інвестицій і повна відсутність державних гарантій окупності капіталу призвела до того, що великі іноземні інвестори заморозили реалізацію своїх енергозберігаючих проектів в Україні до кращих часів. До того ж, зменшення споживання енергоресурсів зменшує прибуток компаній, що виробляють і транспортують енергоресурси. У підсумку, все закінчується розмовами і дискусіями, а реформи в енергетиці продовжують залишатися виключно на папері.

Не можемо не відмітити окремих спроб вирішення проблеми енергозбереження в Україні на законодавчому рівні. Принципи стимулювання енергозбереження суб'єктами підприємницької діяльності, які передбачають пільги в оподаткуванні прибутку, який використовується на придбання і використання енергозберігальних технологій, прискорену амортизацію цих технологій тощо, було покладено в основу Закону України “Про енергозбереження” № 74/94, прийнятого ще у 1994 р. [6]. Проте, реальні обсяги державного фінансування, передбачені регіональними програмами енергозбереження, не виконуються та, більше того, скорочуються.

Деякого оптимізму в цьому сенсі надає “Енергетична стратегія України до 2035 року”, схвалена Кабінетом Міністрів України 18 червня 2017 р. Це програмний документ, який визначає весь комплекс широкомасштабних реформ в енергетичному секторі країни. Він формулює цілі України до 2035 р. і глобальні кроки для їх досягнення. В основі нової енергетичної політики країни досить амбітні цілі – зниження енергоємності економіки вдвічі до 2030 р., збільшення українського виробництва як традиційних, так і альтернативних джерел енергії.

Крім того, Законом України від 20 вересня 2016 р. № 1530-VIII ратифіковано Фінансову угоду (Проект “Основний кредит для аграрної галузі – Україна”) між Україною та Європейським інвестиційним банком. Реалізація проекту “Основний кредит для аграрної галузі – Україна (АПЕКС)”, який передбачає надання кредитних ресурсів Європейським інвестиційним банком в обсязі 400 млн євро, позитивно вплине на бізнес-клімат, створить передумови для активізації інвестиційної діяльності та допоможе українським аграріям наростити експорт і створити нові робочі місця. Проектом “Основний кредит для аграрної галузі – Україна (АПЕКС)”, що має бути реалізований у 2016 – 2020 рр., пропонується надавати кредити терміном до дванадцяти років із пільговим строком кредитування чотири роки. Кінцевими користувачами кредиту виступатимуть малі та середні підприємства, для яких буде спрямовано не менше 70 % від загальної суми. Інші 30 % передбачається надати операторам державного сектору: дослідним станціям, лабораторіям, установам з моніторингу та контролю рибного господарства.

За цією програмою планується фінансування наступних напрямів:

- первинне виробництво зернових та олійних культур;
- розвиток, модернізація та сертифікація потужностей для сушки, очистки, сортування, тестування і зберігання зернових та олійних культур;
- реконструкція виробничих потужностей аквакультури та рибного господарства;
- обладнання та інфраструктура для рибопереробки та консервування;
- дослідні станції, випробувальні лабораторії, обладнання для досліджень та професійного навчання, служби поширення сільськогосподарських знань та сертифікації, системи контролю та моніторингу рибного господарства [7].

Є інформація і про відповідні ініціативи на місцях. Проект “Створення мотиваційної моделі впровадження енергозберігаючих технологій у бюджетній сфері в м. Славутич” реалізувало МГО “Лабораторія малого бізнесу” у партнерстві із виконавчим комітетом Славутицької міської ради, за підтримки Фонду Східна Європа та за рахунок коштів, наданих Компанією “Telenor” [8; 18]. Мусимо, однак, констатувати поодинокість таких прикладів, недостатність інформації про такі проекти, їх ефективність.

Щоб прийняті програми з енергозбереження в Україні працювали ефективно, вони повинні відповідати інтересам громад, а не окремих політиків та фінансово-промислових груп. Державні програми мають базуватися на існуючих українських реаліях і передових інноваційних тенденціях цивілізованого світу. Держава зобов'язана своєчасно переймати і підкріплювати такі тенденції законодавчо, створюючи обґрунтовані економічні стимули для інвесторів. Держава повинна відігравати ключову роль у запровадженні реформ та стимулюванні різноманітних програм та заходів, покликаних збільшити енергоефективність у різних галузях господарства України та зменшити енергоспоживання. Цілком покладатися на ринкове саморегулювання у цій сфері неприпустимо і неможливо. Втручання держави повинно бути якнайширшим та базуватися на запровадженні різнопланових інструментів – заходи держави у цьому напрямку можуть носити як примусовий, так і стимулюючий та просвітницький характер.

Примусові заходи є методами прямого адміністративного впливу та полягають у встановленні вимог до обладнання та технологій щодо рівня енергоспоживання та екологічних параметрів; обов'язкове запровадження приладного обліку споживання енергоресурсів індивідуальними та

корпоративними споживачами; адміністративне нормування енерго- і теплоспоживання: обмеження побутового і виробничого витрачання електроенергії, гарячого водопостачання та опалення за мінімальними тарифами і додатковим розмірами оплати за перевищення встановлених лімітів; встановлення вимог до виробництва та обігу товарів, функціонування яких передбачає використання енергетичних ресурсів тощо.

Практика використання примусових заходів є у різних країнах, в тому числі у розвинених. Необхідно зазначити, що примусові та репресивні функції державного апарату є в багатьох випадках необхідними. Однак система державного управління останнім часом зазнає значних змін. Сучасний етап розвитку держуправління в країнах з розвинутою демократією характеризується явно вираженою трансформацією відносин між державою та її громадянами. Модель відносин “влада-підпорядкування” в умовах громадянського суспільства все частіше поступається місцем моделі партнерства і співробітництва. Пов’язано це з тим, що в умовах громадянського суспільства державні інститути все більшою мірою контролюються громадськістю. З іншого боку, підтримка громадянами тих чи інших державних проєктів кардинально підвищує ефективність їх реалізації. І навпаки, прихований або відкритий саботаж нав’язуваних “зверху” державних ініціатив може звести нанівець всі зусилля держапарату.

Розширення відносин діалогу і партнерства між державою та її громадянами для забезпечення ефективності функціонування економічної системи та суспільства, росту суспільного добробуту за рахунок економного, ефективного та доцільного використання ресурсів ми вбачаємо можливим на базі широкого використання в державному управлінні принципів маркетингу [17, с. 151].

Тобто необхідно використовувати такий підхід до державного управління, який поставить на перше місце інтереси споживачів державних послуг у цій сфері і виступить як специфічна форма реалізації маркетингу в управлінні. При цьому на допомогу державним установам можуть прийти традиційні складові маркетингової діяльності – дослідження ринку (тобто громад), різні елементи маркетингових комунікацій – PR, реклама, стимулювання, продакт плейсмент і т.п.

Серйозним гальмом у реалізації сформульованої пропозиції може стати те, що використання примусових заходів для вітчизняних державних органів є справою звичною, в той час як маркетинговий підхід у державному управлінні в Україні є недостатньо дослідженим питанням та потребує більш детального вивчення. Аналіз доступних джерел з практики впровадження енергозбереження та підвищення енергоефективності демонструє недостатність опрацювання проблеми як у теорії, так і в методиці. Дослідниками вивчаються проблеми використання маркетингу на ринку електроенергії [2; 21], заходи з управління попиту на енергію [3], розглядаються напрями подолання монополізму та розвитку конкуренції [19], проблеми впровадження інноваційних розробок та вітчизняному ринку енергозбереження за допомогою використання системного підходу [12]. Використання маркетингу як концепції функціонування, відповідно – комплексу маркетингових інструментів щодо енергозбереження та енергоефективності залишається поза увагою авторів.

У зв’язку з цим вивчений та узагальнений досвід заходів такого типу, які запроваджуються державними та суспільними організаціями у різних країнах, та вироблені рекомендації практичного характеру для установ України щодо реалізації просвітницьких та стимулюючих заходів на основі маркетингового підходу у області енергозбереження. Ці заходи повинні бути спрямовані на всі групи споживачів енергоресурсів – як населення, так і підприємства різних видів діяльності та форм власності.

Заходи стимулюючого характеру є важливим інструментом для роботи з підприємствами. У державних установ є можливість здійснювати мотивацію різних категорій персоналу підприємств, споживачів різних рівнів різноманітними способами. Основою мотивації керівництва підприємства є покращення продуктивності підприємства шляхом зниження витрат і збільшення прибутковості. Мотивація працівників полягає у визнанні їх ролі в енергозбереженні, його заохоченні та підтримці. Пропаганда енергозберігаючого способу поведінки може здійснюватися через засоби масової інформації, де повинні публікуватися досягнення в галузі енергозбереження кожного підприємства.

Дуже важливою є інформування та навчання керівного персоналу підприємств. Керівництво підприємств необхідно забезпечувати інформацією про потенційну економію грошей за рахунок ефективного енергозбереження і про енергозберігаючі проєкти з коротким і тривалим термінами окупності. Такі відомості дозволять підприємствам прийняти відповідні рішення з питання підвищення енергоефективності, визначити терміни окупності власних енергозберігаючих проєктів, визначитися з перспективними технічними вдосконаленнями. Також необхідно широко оприлюднювати інформацію про позитивний досвід підприємств із запровадження енергозберігаючих заходів, про досягнення підприємствами цільових показників енергоспоживання.

Керівникам підприємств необхідно роз’яснювати, що інвестування коштів в енергозберігаючі проєкти повинно ними розглядатися як доповнення, а не як підміна ефективної практики енергоменеджменту на підприємстві. Перспективне вкладення грошей у технічні вдосконалення при реалізації програм з енергозбереження повинно доповнюватися поточним контролем енергоспоживання. Незалежно від того, чи є у підприємства можливості та плани інвестувати кошти у енергозберігаючі

проекти, важливо забезпечити оптимальне функціонування існуючого обладнання, установок, приміщень; ефективне використання доцільних видів енергії; підтримання ефективної адміністративно-господарської діяльності персоналу, відповідального за енергоспоживання. При вивченні пріоритетів інвестування необхідно враховувати питоми енергоспоживання виробництва, поточний стан обладнання та приміщень, умови роботи персоналу, екологічні аспекти інвестиційних проектів.

Для того, щоб енергозбереження впроваджувалося якнайширше на підприємствах України, необхідно працювати не тільки з підприємствами в особі їх керівників, а й з кожним окремим працівником, який сам є споживачем енергоресурсів на рівні власного домогосподарства.

Енергозберігаюча поведінка повинна стати звичним образом дій для кожного громадянина, споживача комунальних послуг, рядового та керівного працівника кожного підприємства. Для стимулювання енергозбереження державі необхідно забезпечити ринкову позицію споживачів, що можливо саме за допомогою застосування маркетингових інструментів, заходів просвітницького та стимулюючого характеру.

В ідеалі досягнення мети ощадливого витрачання енергоресурсів повинно бути забезпечено не стільки прагненням виконання обов'язкових вимог, скільки усвідомленою потребою, зумовленою можливістю одержання додаткових вигод споживача. Це означає спілкування з людьми, основними цілями якого є: просування ідей енергозбереження, підвищення обізнаності про його важливість; забезпечення широкого розповсюдження інформації про існуючі товари та технології і переваги їх використання; обґрунтування ефективності вкладень у заходи з енергозбереження; реклама досягнень різноманітних підприємств та окремих домогосподарств у сфері енергозбереження [10].

Оскільки мова йде про економію ресурсів, доцільним є використання низьковитратних інструментів просування з арсеналу маркетингових засобів, як то статті в офлайн-виданнях, реклама на асфальті, штендери (або стрітлайни), реклама на автомобілі, розсилка по e-mail. Блог, статті на сайтах, інтерв'ю в інтернеті також виступають важливим джерелом розповсюдження інформації, служить для нагадування, підтримання інтересу [11].

Щоб енергозбереження та енергоефективність набували більшої розповсюдженості серед населення, маркетингові зусилля державних установ повинні спрямовуватися за трьома вимірами: усвідомлення, ціна та переконання. Цей трикутник переплетених вимірів є ключовим елементом ефективної комунікації та побудови відносин, що ведуть до позитивних результатів.

Що стосується усвідомлення – на сьогоднішній день з цим склалася двояка ситуація. З одного боку, споживачі мають загалом позитивні асоціації з поняттями “енергозбереження”, “екологічність”, “чиста енергія”. З іншого боку, існує значний розрив між намірами споживачів (тобто тим, що вони вважають важливим) та їх діями. Цей розрив зумовлений низкою споживчих, економічних та маркетингових бар'єрів. Він свідчить про те, що усвідомлення, що енергозбереження та чиста енергія є важливими та необхідними, ще не перетворилося в очах споживачів на джерело створення відчутних цінностей і не призвело до помітних змін у поведінці. Тож існує потреба в переході від пізнавальної свідомості до вірувань, які керують рішеннями, у спонуканні людей перейти від думок до діяльності. Люди повинні здійснювати свої затверджені переконання в реальному житті шляхом дій. Необхідно залучити серця та уми людей шляхом більш емоційних зусиль, спрямованих на окремі сегменти, виділені за допомогою розширеної психографічної та ціннісної сегментації.

Доцільним є подати екологічність в цілому як економічну цінність. Щоб збільшити швидкість прийняття та затребуваності споживачами, споживачі повинні більш чітко бачити економічну цінність, пов'язану із забезпеченням екологічності, енергозбереження та чистої енергії. Ця цінність повинна бути індивідуалізованою та персоналізованою, а також доповненою соціальними та екологічними перевагами, які пов'язані з цими поняттями. Ціна є ключовим бар'єром для прийняття, якщо вона не пов'язана зі створенням цінності. Винагорода тут може бути представлена, окрім економічних категорій, також у категоріях образів та концепцій, які створюють емоційний зв'язок та задовольняють високі потреби, такі як підвищення самооцінки/статусу, більший зв'язок із спільнотою, духовна самореалізація, добробут родини, спадщина тощо.

Також необхідно збільшити візуалізацію результатів. Повинно бути більше продуктів та пропозицій, які допомагають представити зміни як можливі, реальні та видимі. Люди можуть почувати себе розгубленими: вони хочуть діяти, але не знають, що вони здатні змінити. Негативні дані (танення льодовиків, страждання білих ведмедів тощо) оцінюються та озвучуються значно частіше, ніж позитивні дані. Люди не усвідомлюють потребу в зміні, оскільки можливі позитивні результати озвучуються рідко. До того ж дуже часто слова, які використовують державні установи, засоби масової інформації, є політичними (юридичними), професійними або науковими. Як результат, споживачі мають позитивні асоціації з цими поняттями, але не відчувають, як це пов'язано з ними особисто. Комунікації повинні створювати неупереджене, надихаюче відчуття невідкладності, яке формулює позитивне бачення і примушує людей діяти.

При цьому необхідно враховувати, що надзвичайно важливим є фактор часу, і негайно потрібні рішення (хоч навіть і недосконалі, тимчасові), щоб якнайшвидше розпочати залучати споживачів до енергозбереження, поки не з'являться інші рішення, більш дієві та ефективні. Для початку можна здійснити сегментацію ринку для визначення перших, найбільш сприйнятливих цільових аудиторій, на які будуть спрямовані перші зусилля. Це допоможе, по-перше, не гаяти часу, а також згодом полегшить поступовий перехід від окремих ніш до мас [25].

Для того, щоб створити тривалий “попит” на енергоефективність, необхідно виконати складне завдання – змінити ставлення та поведінку споживачів у споживанні енергії. Для того, щоб переорієнтувати ринок на енергоефективність та зробити заощадливу поведінку загальноприйнятною, необхідні тривалі зусилля з впливу на розум та серця споживачів, значну допомогу у чому може надати застосування стратегій соціального маркетингу. Деякі інноваційні шляхи застосування комунальними підприємствами та урядами розвинених країн принципів соціального маркетингу для збільшення охоплення споживачів їхніми програмами, зменшення накладні витрат та переорієнтації ринків з метою підвищення енергоефективності наведені нижче.

Більшість найуспішніших кампаній із зміни поведінки дотримується відомого принципу “мислити глобально, діяти локально”, налагоджуючи партнерські стосунки з місцевими органами влади, школами, некомерційними організаціями, церквами та іншими громадськими групами, щоб здійснити програму на місцевому рівні. Це полегшує спілкування з різними групами людей та дозволяє застосувати диференційований підхід до маркетингової діяльності, охопити різні аудиторії. Наприклад, для деяких людей глобальна небезпека зміни клімату може здатися більш критичною, ніж необхідність енергозбереження – тож на них можна вплинути за допомогою, наприклад статей про сценарії “судного дня” у газетах та інших інформаційних джерелах. Місцеві неприбуткові та громадські групи сприймаються населенням як надійні посланці та можуть нагадувати людям, що навіть невеликі дії можуть призвести до реальних змін, якщо будуть діяти багато людей. Ці місцеві партнери можуть забезпечувати матеріально-технічну та фінансову підтримку, а також волонтерську робочу силу, значно розширюючи охоплення кампанії.

Однією з причин того, що орієнтовані на громаду кампанії виявляються успішними, є те, що люди часто більш чутливі до повідомлень від людей, яких вони сприймають як своїх однолітків. Обучені волонтери здатні залучати своїх сусідів до рівноправних діалогів про можливості економії енергії, окрім використання енергозберігаючої лампочки. Представляючи енергозберігаючу поведінку як модну, яка “подобається людям”, кампанії можуть покладатися на силу соціальних норм. Люди схильні змінювати свою поведінку, якщо вони вважають, що це роблять і інші, і більшість людей не бажають пливати проти течії. Взаємодії один-на-один, які стають можливими завдяки кампаніям соціального маркетингу на рівні громади (і використанню соціальних мереж), дозволяють людям задавати питання та отримувати інформацію, яка персоналізована під їх унікальну ситуацію, що ще більше підвищує ймовірність того, що вони будуть реагувати практичними діями на інформацію, яку вони отримують.

Дуже важливим є не тільки “вчити” споживачів, але й намагатися їх залучити. Коли маркетинг використовується для “освіти”, він стає дійсно нудним, не засвоюється. Нудних повідомлень люди часто просто не помічають. Замість того, щоб тільки інформувати про наявність можливості енергозбереження, необхідно розповідати про його переваги. У сфері пропаганди ефективності використання енергоресурсів більшість реклами обіцяє, що споживачі будуть заощаджувати, якщо долучаться до цих дій. Але ж при цьому споживачі також зможуть отримати переваги комфорту, контролю, душевного спокою, поліпшення здоров'я та навколишнього середовища – на це також необхідно вказувати.

Інший спосіб, за допомогою якого соціальні норми застосовуються для заохочення енергозбереження – це порівняння даних про споживання енергії в різних домогосподарствах, будинках, у різних господарствах та підприємствах та рейтингова пропаганда успішності зусиль з енергозбереження. Корисним буде застосування спеціальної програми, яка порівнює дані про споживання енергоресурсів різними споживачами та автоматично разом із рахунками розсилає найбільш економним споживачам “похвальні листи”.

Спроба впливати на споживчу поведінку та покупки за допомогою соціальних, а не фінансових стимулів, стає вагомою рушійною силою, яка дозволяє досягти змін у мисленні для більшості споживачів енергоресурсів. Органи державного управління можуть посилити ці стимули, використовуючи поведінково-орієнтований підхід, створюючи регуляторне середовище, яке заохочує розробку та оцінку програм, які фіксують та оприлюднюють кількість заощаджених енергоресурсів та наполегливість зусиль з енергозбереження, розгорнути весь спектр маркетингу і тим самим допомогти створити міцну платформу енергозбереження та енергоефективності в Україні [23].

Отже, як теоретичне, так і, на його основі, методичне опрацювання питання використання маркетингу в стимулюванні енергоефективності та енергозбереження є необхідними наразі напрямками досліджень для українського суспільства, як на основі зарубіжного, так і враховуючи набутий вітчизняний досвід.

### **3.26. Енергозбереження як основний індикатор управління інвестиційною привабливістю підприємств машинобудування**

© Чернецька О. В.

*к.е.н., ст. викладач кафедри фінансів та обліку, Приватний вищий навчальний заклад "Міжнародний університет фінансів", м. Київ, Україна*

Оскільки Національним пріоритетом розвитку України є зниження енергетичної залежності, а також впровадження відповідно до світових стандартів енергозберігаючих технологій з метою значного заощадження енергоресурсів, то дослідження процесу управління енергозбереженням на підприємствах нашої держави є необхідною умовою.

Разом з тим проблеми організації процесу енергозбереження на підприємстві мають розглядатися комплексно, із урахуванням всієї сукупності умов, які впливають на цей процес. І, крім того, неабиякого значення набуває здатність топ-менеджменту підприємства створити ефективний організаційно-економічний механізм, завданням якого є підвищення енергоефективності підприємства, що, в свою чергу, буде впливати на енергоефективність соціально-економічних систем на різних рівнях держави [3, с. 213 – 217].

В умовах жорсткої енергетичної кризи і надання програмі з енергозбереження державного статусу виникає необхідність удосконалення існуючих та розробки нових підходів і прийомів досягнення економії енергетичних ресурсів на промисловому підприємстві з урахуванням наявного енергетичного потенціалу, використання яких дозволить знизити енергоємність продукції і забезпечити стабільне функціонування енергетичної системи країни в цілому.

У сфері сучасних наукових досліджень проблеми забезпечення енергозбереження промислових підприємств та енергетичної безпеки досліджувалися в роботах таких вітчизняних і зарубіжних учених, як М. В. Афанасьєв [2, с. 23], Б. В. Гаприндашвілі [3, с. 213 – 217], М. В. Гнідий [4, с. 1 – 21], О. С. Гордієнко [5, с. 13 – 14], М. О. Кизим [9, с. 25 – 32], В. В. Микитенко [10, с. 37 – 42], Т. І. Салашенко [14, с. 19 – 23], О. М. Суходоля [15, с. 232 – 325] та ін. Проте ці дослідження не є вичерпними і потребують подальшого розвитку, удосконалення та уточнення. Аналіз результатів наукових досліджень і публікацій засвідчує недосконалість існуючих методів стимулювання енергозбереження в Україні, що підтверджує доцільність продовження вивчення проблеми раціонального енерговикористання. Встановлено, що наукові розробки постійно пропонують вдосконалення окремих елементів енергозбереження, але невирішеним залишається питання його комплексного механізму управління на підприємстві.

Енергозбереження слід розглядати як багаторівневу економічну категорію, складовими якої мають бути визначення і роль енергозбереження на різних рівнях, які можна поєднати в ієрархію рівнів енергозбереження (рис. 3.42).

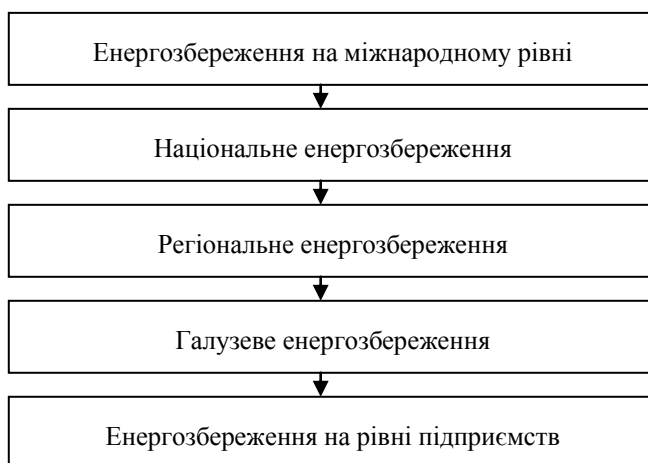


Рис. 3.42. Ієрархія рівнів енергозбереження

*Джерело: узагальнено авторами за даними [2, с. 105 – 107]*

Поточний стан кожного нижчого суб'єкта енергозбереження формує енергозбереження більш високого суб'єкта, однак, у свою чергу, стан рівня енергозбереження більш високого суб'єкта впливає на стан рівня нижчого суб'єкта [5, с. 13 – 14].

У сучасній науково-економічній літературі на сьогодні існує ціла низка підходів до визначення сутності енергозбереження. Їх аналіз дає можливість сформувати такі основні підходи щодо трактування сутності енергозбереження на підприємстві:

- 1-й підхід – енергозбереження як діяльність;
- 2-й підхід – енергозбереження як процес;
- 3-й підхід – енергозбереження як складова управління;
- 4-й підхід – енергозбереження як результат;
- 5-й підхід – енергозбереження як метод господарювання (табл. 3.42).

Таблиця 3.42

**Підходи до визначення сутності поняття “енергозбереження”**

Автор	Зміст поняття “енергозбереження”
<b>1. Енергозбереження як діяльність</b>	
Закон України “Про енергозбереження” [12]	Діяльність (організаційна, наукова, практична, інформаційна), яка спрямована на раціональне використання та економне витрачання первинної та перетвореної енергії та природних енергетичних ресурсів в національному господарстві і яка реалізується з використанням технічних, економічних та правових методів
В. В. Джеджула [2]	Діяльність (організаційна, наукова, практична, інформаційна), яка спрямована на раціональне використання і економне витрачання первинної та перетвореної енергії природних енергетичних ресурсів у промисловості, зменшення екологічного забруднення навколишнього середовища, перехід на альтернативні та відновлювальні джерела енергії, що реалізується із використанням технічних, економічних, правових і організаційних методів
<b>2. Енергозбереження як процес</b>	
М. В. Гнідий [4]	Процес реалізації комплексу напрямів із заощадження різних видів ПЕР
О. С. Гордієнко [5]	Процес, у ході якого скорочується потреба в енергетичних ресурсах на одиницю кінцевого корисного ефекту від їхнього використання
<b>3. Енергозбереження як складова управління</b>	
Міжнародне енергетичне агентство (МЕА) [13]	Ефективність управління енергетичним попитом з метою збільшення продуктивності енергоспоживання. Використання енергії більш ефективно шляхом зміни трудової поведінки, удосконалення рівня управління та впровадження нових технологій
О. В. Захарова [8]	Загальні положення енергозбереження повинні здійснюватися в рамках енергетичного менеджменту, який є сукупністю методів, що дозволяють підприємству з найменшими витратами і в найкоротший строк впровадити концепцію енергозбереження
<b>4. Енергозбереження як результат</b>	
Директива Європейського Союзу [1]	Кількість заощадженої енергії, яка визначається на підставі вимірювання та/чи оцінювання споживання до та після впровадження одного чи більше заходів щодо підвищення енергоефективності, що забезпечує узгодження системи за умовами зовнішнього середовища, які впливають на рівень енергоспоживання
С. А. Михайлов, В. П. Мешалки, А. А. Балябіна [11]	Ефективне використання енергії споживачами, у тому числі мінімізація енерговитрат на одиницю продукції
<b>5. Енергозбереження як метод господарювання</b>	
Б. В. Гаприндашвілі, І. М. Лазепко [3]	Комплекс організаційних, наукових, економічних, екологічних і технологічних дій, спрямованих на раціональне та безпечне використання енергетичних і природних ресурсів у національному господарстві з метою скорочення витрат при виробництві продукції, наданні послуг і задля досягнення кінцевих корисних соціально-економічних ефектів від їх використання

Джерело: [1 – 5; 8; 11 – 13]

Виходячи з наведених вище трактувань “енергозбереження” можна стверджувати, що енергозбереження представляє собою процес, зокрема, розробки і реалізації заходів енергозбереження, які забезпечують оптимальне використання енергетичних ресурсів.

Незважаючи на різні підходи, більшість дослідників з цього питання прямо чи опосередковано ототожнюють поняття “енергозбереження” з підвищенням енергоефективності. І цей процес не є можливим без формування на рівні підприємства дієвого організаційно-економічного механізму енергозбереження.

Тому розглянемо процес формування організаційно-економічного механізму енергозбереження на підприємстві. Передусім треба відзначити, що енергозбереження як різновид ресурсозберігальної діяльності є процесом скорочення споживання ПЕР, а не енергії: кожен напрям енергозберігальної діяльності спрямований у кінцевому результаті на збереження ПЕР через скорочення витрат енергії чи заміну одних енергоресурсів іншими [2, с. 37 – 52].

Організаційно-економічний механізм енергозбереження промислових підприємств – це поєднання та інтеграція організаційних та економічних цілей, стимулів і управлінських дій, спрямованих на енергозбереження за допомогою методів та інструментів управління, що здійснюються шляхом впливу суб’єкта на об’єкт енергозбереження з метою зниження енергозалежності, отримання конкурентних переваг та підвищення ефективності функціонування підприємства в довгостроковій перспективі [3, с. 213 – 217].

Організаційно-економічний механізм енергозбереження поєднує в собі дві основні складові: організаційну та економічну.

Організаційна складова дозволяє дослідити та визначити перелік функцій управління, учасників процесу енергозбереження та відповідальних за отримані результати.

Економічна складова механізму енергозбереження повинна визначати економічні шляхи реалізації енергозберігаючих заходів.

Проблеми енергозбереження стають наріжним каменем для національної економіки. Енергозбереження є процесом, під час якого зменшується потреба в паливно-енергетичних ресурсах на одиницю кінцевого корисного ефекту при їхньому використанні. Оскільки в процесі виробництва матеріальних благ і послуг споживається тільки та частина енергії, що спроможна виконувати роботу, то енергозбереження зводиться як до заощадження паливно-енергетичних ресурсів [3, с. 213 – 217].

Однак поняття “енергозбереження” є економічно обмеженим, воно недостатньо для формування енергетики господарської системи на макрорівні.

В умовах економічної та енергетичної кризи найважливішим напрямком виходу промисловості з кризового стану є впровадження в практику підприємств машинобудування механізму управління інвестиційною привабливістю, який передбачає виконання комплексу заходів з енергоменеджменту та енергозбереження [4, с. 1 – 21].

Управління інвестиційною привабливістю машинобудівного підприємства є системою принципів та методів розробки і реалізації управлінських рішень, пов'язаних з формуванням фінансово-економічних, матеріально-технічних, енергозберігаючих та соціально-психологічних індикаторів, спрямованих на мінімізацію інвестиційних ризиків, максимізацію прибутковості та ринкової вартості машинобудівного підприємства.

Дослідивши світовий та національний досвід формування системи індикаторів інвестиційної привабливості підприємств, прийшли до висновку, що вони є неповними, неінформативними, іноді суперечливими та не враховували повною мірою специфіку діяльності саме машинобудівних підприємств.

У цьому контексті пропонуємо включити до системи основних індикаторів інвестиційної привабливості машинобудівного підприємства фінансово-економічні, виробничо-технічні, енергозберігаючі та соціально-психологічні індикатори (табл. 3.43).

*Таблиця 3.43*

**Основні індикатори інвестиційної привабливості машинобудівних підприємств**

Індикатори	Показники
Фінансово-економічні індикатори	Коефіцієнт покриття; коефіцієнт співвідношення кредиторської та дебіторської заборгованості; коефіцієнт абсолютної ліквідності; коефіцієнт незалежності; коефіцієнт фінансування; коефіцієнт фінансової стійкості; коефіцієнт руху грошових коштів в результаті операційної діяльності; коефіцієнт грошового покриття короткострокових боргів; коефіцієнт достатності грошового потоку; коефіцієнт ліквідності грошового потоку підприємства; коефіцієнт реінвестування чистого грошового потоку; економічна рентабельність (ROA), фінансова рентабельність (ROE), рентабельність інвестицій (ROI); NPV (чистий приведений дохід), внутрішня норма доходності (IRR), середньозважена вартість інвестованого капіталу (WACC), період окупності інвестицій
Виробничо-технічні індикатори	Обсяг реалізованої продукції (робіт, послуг); обсяг продукції, виробленої на підприємстві (робіт, послуг), у тому числі за видами продукції; виробничі потужності підприємства, у тому числі за видами продукції; рівень використання виробничих потужностей; питома вага витрат на енергоресурси у складі операційних витрат; активна частина основних засобів; коефіцієнт зносу основних засобів; коефіцієнт оновлення; коефіцієнт вибуття
Енергозберігаючі індикатори	Технологічна складова потенціалу енергозбереження; рівень технічного обслуговування та модернізації основних фондів; коефіцієнт автоматизації технологічних процесів; чисельність персоналу у відділі енергозбереження; коефіцієнт ритмічності постачання паливно-енергетичних матеріалів; питома вага фінансування заходів з енергозбереження; величина інвестицій залучених для реалізації енергозбереження на підприємстві; коефіцієнт ефективності використання цільових надходжень; величина економії витрат в результаті енергозбереження; коефіцієнт корисного використання енергії; коефіцієнт енерговіддачі та енергоємності у вартісному та натуральному вираженні; інтегральний показник ефективного функціонування механізму енергозбереження на підприємстві
Соціально-психологічні індикатори	Політико-економічна ситуація в країні; рівень кваліфікації працівників; рівень заробітної плати; умови праці; наявність соціальних пакетів, морально-психологічний клімат у колективі; рівень соціальної напруженості у колективі; рівень згуртованості та організованості колективу; рівень професійної та соціальної активності працівників; частота виникнення конфліктних ситуацій у колективі; якість трудової дисципліни; особиста безпека працівника; рівень задоволеності системою морального та матеріального стимулювання; стабільність кадрової політики з боку керівництва

*Джерело: узагальнено авторами за даними [6, с. 1053 – 1057; 7]*



Отже, згідно даних табл. 3.43 енергозберігаючі індикатори мають вагому частку впливу в загальній системі індикаторів інвестиційної привабливості підприємств машинобудування.

Економічна ситуація в Україні зумовлює необхідність використання національними машинобудівними підприємствами сучасних підходів, інструментів та методів управління для забезпечення їх інвестиційної привабливості як на внутрішньому, так і на зовнішніх ринках.

Практичний досвід оцінки інвестиційної привабливості підприємств машинобудування з використанням стандартних коефіцієнтних методик доводить суперечливість результатів, що безперечно вимагає розробки сучасних моделей управління інвестиційною привабливістю машинобудівних підприємств, орієнтованих на максимізацію їх вартості та здатних виступати не лише інструментом аналізу, але й прогнозування рівня інвестиційної привабливості.

Застосування в системі управління підприємством вартісного підходу набуло достатньо високого визнання серед зарубіжних фахівців даного профілю, а у світовій практиці для публічних компаній – це стандартний інструментарій управління. Для непублічних компаній вартісне управління є не менш актуальним, тому що дає можливість власникам підприємств привести в рівновагу їх цілі, які часто носять суперечливий характер.

Враховуючи практику ведення бізнесу в Україні в сучасних умовах, саме для підприємств машинобудування пропонуємо використовувати із запропонованого переліку наступні комбінації моделей управління інвестиційною привабливістю підприємства:

1.1. Модель конкурентоспроможності з орієнтиром на ефективність енергоменеджменту: SPACE-TPM-BAS.

1.2. Модель збалансованих показників з орієнтиром на ефективність енергоменеджменту: BSC-TPM-BAS.

Розглянемо детальніше основні показники, що входять до кожної з запропонованих моделей, дослідимо їх взаємозв'язок, визначимо їх вплив на зростання вартості та інвестиційної привабливості машинобудівного підприємства.

Специфічна група моделей управління інвестиційною привабливістю підприємства: SPACE-TPM-BAS та BSC-TPM-BAS передбачає введення показників енергозбереження на підприємствах машинобудування (табл. 3.44).

Таблиця 3.44

**Перелік показників моделей SPACE–TPM–BAS та BSC–TPM–BAS, що входять до системи управління інвестиційною привабливістю машинобудівних підприємств**

Фінансово-економічні показники	Моделі		Інформаційні суб'єкти		
	SPACE–TPM–BAS	BSC–TPM–BAS	Інвестор, власник	Фінансовий відділ	Відділ енергоменеджменту
1. Основні показники					
1.1. Показники стабільності підприємства					
Рентабельність інвестицій (ROI)	+	–	+	+	+
Коефіцієнт фінансування	+	–	–	+	–
Коефіцієнт фінансового ризику	+	–	+	+	–
Рентабельність реалізованої продукції	+	–	–	+	–
Рентабельність виробництва	+	–	–	+	+
Конкурентоспроможність продукції	+	–	–	+	+
1.2. Показники стабільності галузі					
Частка ринку	+	–	+	+	–
Рівень прибутку в галузі	+	–	–	+	–
Стабільність прибутку	+	–	+	+	–
Рівень розвитку інноваційної діяльності	+	–	–	–	+
Темпи інфляції	+	–	–	+	–
Темп росту реалізованої продукції	+	–	–	+	–
Рівень інноваційних технологій	+	–	–	–	+
1.3. Показники, характеризують ефективність управління енергозбереженням підприємства (BAS)					
Технологічна складова потенціалу енергозбереження	+	+	–	–	+
Рівень технічного обслуговування та модернізації основних фондів	+	+	–	–	+
Коефіцієнт автоматизації технологічних процесів	+	+	+	–	+

Продовж. табл. 3.44

Коефіцієнт ритмічності постачання паливно-енергетичних матеріалів	+	+	-	-	+
Питома вага фінансування заходів з енергозбереження	+	+	-	-	+
Величина інвестицій залучених для реалізації енергозбереження на підприємстві	+	+	+	-	+
Величина економії витрат в результаті енергозбереження	+	+	+	-	+
Коефіцієнт корисного використання енергії	+	+	+	-	+
Коефіцієнт енерговіддачі та енергоємності у вартісному та натуральному вираженні	+	+	+	-	+
<b>2. Додаткові показники</b>					
<b>2.1. Показники конкурентоспроможності підприємства</b>					
Якість продукції	+	-	-	+	+
Життєвий цикл продукції	+	-	-	+	-
Вертикальна інтеграція	+	-	-	+	-
<b>2.2. Показники, що характеризують виробничо-технічний стан підприємства</b>					
Активна частина основних засобів	+	-	-	+	-
Коефіцієнт зносу основних засобів	+	+	-	-	+
Коефіцієнт оновлення основних засобів	+	+	-	-	+
Коефіцієнт вибуття основних засобів	+	-	-	+	-
Загальна ефективність обладнання (TPM)	+	+	-	-	+
Коефіцієнт ритмічності	-	+	-	+	+
Витрати від браку	-	+	-	+	+
Коефіцієнт серйозності	+	+	-	-	+

*Джерело: узагальнено авторами за даними [6, с. 1053 – 1057]*

Оскільки об'єктом дослідження є важке машинобудування, відповідно, воно є енергозатратним. Саме тому, ми пропонуємо ввести на досліджуваних підприємствах машинобудування систему енергозбереження. Однак зауважимо, що введення таких показників в управління інвестиційною привабливістю досліджуваних машинобудівних підприємств має бути поступовим і здійснюватися паралельно з впровадженням вартісно-орієнтованих моделей.

Відповідно, запропоновані моделі SPACE-TPM-BAS та BSC-TPM-BAS зосереджують увагу власників (інвесторів) як на фінансовій компоненті, завдяки включенню таких показників, як рентабельність інвестицій (ROI), коефіцієнта фінансового ризику, так і на виробничо-технічній компоненті, яка представлена показниками загальної ефективності обладнання (TPM) та системою енергозбереження (BAS), а також орієнтовані, і на інвестора, і на відділ енергозбереження, що розширює можливості впливу на ефективність діяльності машинобудівного підприємства.

Отже, комплексне використання запропонованих та розглянутих моделей управління інвестиційною привабливістю підприємств машинобудування дасть змогу суттєво підвищити ефективність процесу управління нею як у поточному, так і в перспективному періодах.

### **3.27. Підвищення енергоефективності економіки України за рахунок зниження енерговитрат в житлово-комунальному господарстві**

© Ющенко Н. Л.

*к.е.н., доцент, доцент кафедри бухгалтерського обліку, оподаткування та аудиту,  
Чернігівський національний технологічний університет, м. Чернігів, Україна*

Енергоємність валового внутрішнього продукту – питомі енерговитрати на 1 дол. США виробленого ВВП в Україні перевищує аналогічні показники Великої Британії у 4,8 рази, Туреччини – у 3,8 рази, Польщі – в 3 рази. Україна споживає газу більше, ніж Швеція, Бельгія, Польща, Чехія, Норвегія, Естонія та Латвія разом взяті [1, с. 109]. Річний обсяг споживання газу в Польщі майже 15 млрд. м<sup>3</sup> [2]. Використання природного газу Україною в 2016 р. склало 33,2 млрд. м<sup>3</sup>, при цьому ВВП Польщі втричі перевищує ВВП України [3].

Енергетична безпека, яка є невід’ємною складовою національної безпеки України, – це спроможність держави забезпечити ефективне використання власної паливно-енергетичної бази, здійснити диверсифікацію джерел і шляхів постачання в країну енергоносіїв для забезпечення життєдіяльності населення та функціонування національної економіки у режимі звичайного, надзвичайного та стану війни, попередити стрімкі цінові коливання на паливно-енергетичні ресурси або ж створити умови для безболісної адаптації національної економіки до нових цін на ці ресурси на світових ринках [4]. Енергетична безпека передбачає досягнення стану технічно надійного, стабільного, економічно ефективного та екологічно безпечного забезпечення енергетичними ресурсами економіки і соціальної сфери держави.

Недостатні обсяги робіт з реконструкції, технічного переоснащення енергетичного комплексу України та запровадження нетрадиційних видів енергетики на основі відновлюваних джерел, зношеність існуючого технологічного обладнання, зростання аварійності об’єктів призводить до порушення стабільності тепlopостачання населення і підприємств від централізованих джерел, перевитрат енергосировинних ресурсів і збільшення техногенного навантаження на довкілля, втрат енергії в теплових мережах і обумовлює потребу у раціональних рішеннях із залученням значних інвестицій у модернізацію та розвиток паливно-енергетичної системи, впровадження заходів з ефективного виробництва, транспортування і споживання енергоносіїв для підтримки і збільшення конкурентоспроможності за рахунок скорочення енергоемності ВВП до рівня провідних країн Європи, а також для забезпечення безперервного та стабільного функціонування галузі.

Опалення житлового сектору, де втрачається близько 60 % енергії, на макроекономічному рівні є однією з головних проблем у сфері енергозбереження в Україні. Зниження витрат при виробництві, передачі та розподіленні теплової енергії, що має позначитися на розмірі тарифів на теплову енергію, – один з основних напрямів розвитку теплової енергетики, передбачених оновленою Енергетичною стратегією України [5]. В нашій країні системи централізованого тепlopостачання об’єктів житлового і громадського призначення, які у більшості створювалися у період масового житлового будівництва у 60-ті – початок 80-х років ХХ ст. і з того часу практично не оновлювалися, забезпечують тепlopотреби близько 55 % населення. Основне та допоміжне обладнання значної кількості котелень вичерпало допустимі терміни експлуатації, що обумовлює високий рівень споживання палива, забруднення довкілля і призводить до зниження надійності та якості тепlopостачання [6]. Показники офіційної статистики, що характеризують стан галузі у 2005 – 2015 рр., зведені в табл. 3.45, 3.46.

Таблиця 3.45

**Характеристики діяльності підприємств із забезпечення парою та кондиційованим повітрям в Україні (секція D “Постачання електроенергії, газу, пари та кондиційованого повітря”, розділ 35 КВЕД-2010), 2011 – 2015 рр.**

Найменування показника, од. вимір.	Значення показника				
	2011 р.	2012 р.	2013 р.	2014 р.	2015 р.
Постачання пари, гарячої води та кондиційованого повітря (обсяг реалізованої продукції), млн. грн	22438,4	24213,8	23916,3	21745,3	30395,8
Пара та вода гаряча (теплоенергія, вироблена і відпущена), млн. Гкал	146	140	128	108	90,7

Джерело: [7]

На сьогодні маємо одну з найвищих у світі насиченість міст тепловими мережами. Протяжність магістральних і розподільчих теплових мереж в Україні (за винятком власних тепломереж промислових підприємств) становить 24,3 тис. км в двотрубному обчисленні, у тому числі тепломережі Мінпаливенерго України – 3,5 тис. км діаметром від 125 до 1400 мм, комунальні тепломережі – 20,8 тис. км діаметром від 50 до 800 мм [8].

Ступінь зносу основних засобів підприємств з постачання електроенергії, газу, пари та кондиційованого повітря в Україні у 2013 р. оцінювався на рівні 61,9 %, у 2015 р. – 82,6 % [10]. Зношеність магістральних і розподільчих мереж досягає 70 % їх загальної протяжності [11]. Втрати тепла через неякісну ізоляцію трубопроводів із витокami теплоносія при пошкодженні труб становлять до 20 % від відпущеної теплової енергії проти 13 %, які передбачені нормами. Середній показник питомого енергоспоживання в Україні у 2–3 рази вищий відповідного показника у розвинутих країнах Європейського Союзу. Зокрема, середнє питоме енергоспоживання в багатоквартирних житлових будинках становить 264 кВт·год./м<sup>2</sup>, в той же час у європейських країнах відповідний показник у середньому не перевищує 90 кВт·год./м<sup>2</sup>.

Отже, потенціал скорочення (у разі досягнення поточного рівня втрат в ЄС) становить 11,4 млрд. м<sup>3</sup> газу – близько 58 % імпорту України, адже щорічне споживання природного газу на опалення в Україні оцінюється у 18,6 млрд. м<sup>3</sup> [12] (річна оцінка споживання газу зроблена виходячи з помірної температури в опалюваний сезон та помірною відновленням в промисловості).

**Динаміка окремих техніко-економічних показників роботи  
опалювальних котелень і теплових мереж в Україні, 2005 – 2014 рр.**

Найменування показника, од. вимір.	Значення показника <sup>1)</sup> по роках									
	2005 р.	2006 р.	2007 р.	2008 р.	2009 р.	2010 р.	2011 р.	2012 р.	2013 р.	2014 р. <sup>2)</sup>
Протяжність теплових та парових мереж на кінець року у двотрубному обчисленні, тис. км	37,4	36,7	35,8	35,8	34,6	33,8	33,1	32,4	31,3	25,6
Протяжність ветхих та аварійних теплових і парових мереж на кінець року у двотрубному обчисленні, км	...	...	...	...	...	...	4865,5	5876,6	5952,6	4762,0
У % до загальної протяжності теплових і парових мереж	...	...	...	...	...	...	14,7	18,1	19,0	18,6
Всього котелень на кінець року, тис. од.	26,9	27,3	30,0	31,3	32,7	33,3	35,1	35,4	35,4	31,0
Сумарна потужність котелень на кінець року, тис. Гкал/год.	145,9	139,5	138,3	133,3	130,4	127,2	120,3	117,8	114,0	96,1
Кількість установлених котлів (енергоустановок) на кінець року, тис. од.	65,2	65,4	69,8	72,3	75,8	76,9	79,7	80,1	79,9	68,0
Вироблено теплової енергії, млн. Гкал	127,2	124,6	112,1	104,7	98,0	104,1	104,7	104,1	96,5	73,0
Одержано теплової енергії зі сторони, млн. Гкал	7,9	7,8	7,1	7,4	8,3	10,3	9,6	9,2	8,6	6,5
Витрачено теплової енергії на власні виробничі потреби котелень, млн. Гкал	4,3	4,4	3,9	3,6	3,2	3,1	3,2	3,5	2,8	2,3
Відпущено теплової енергії, млн. Гкал у тому числі	117,8	114,6	103,0	96,1	90,7	97,8	97,6	96,0	89,1	67,4
населенню	62,3	60,7	55,0	51,8	52,1	54,7	54,7	55,0	51,9	39,5
на комунально-побутові потреби	25,4	26,1	23,7	23,6	22,2	23,1	22,6	21,9	20,6	15,4
Втрати теплової енергії, млн. Гкал	13,1	13,4	12,4	12,4	12,3	13,6	13,5	13,8	13,2	9,9

<sup>1)</sup> інформація сформована за даними підприємств, які виробляють і відпускають тепло та гарячу воду населенню та на комунально-побутові потреби, крім підприємств, що відпускають теплоенергію лише на виробничо-технологічні потреби підприємств та організацій. В окремих випадках сума складових може не дорівнювати підсумку у зв'язку з округленням даних;

<sup>2)</sup> без урахування тимчасово окупованої території Автономної республіки Крим, м. Севастополя та частини зони проведення антитерористичної операції

*Джерело: [9]*

Системи централізованого теплопостачання мають значні втрати виробленої теплової енергії на стадії транспортування і розподілу тепла, часто трапляються аварії тепломереж. Населення змушене платити за теплову енергію, 45 % якої реально не отримує через її втрату при транспортуванні. Фактично нікого не цікавить, якої якості, а точніше температури, теплоносії отримують споживачі – все вже оплачено. Діюча практика обчислення тарифів на теплову енергію на стадії її відпустки в мережі призводить до відсутності фінансових стимулів до реконструкції тепломереж, що зумовлює низькі темпи їх відновлення. Що стосується інвестицій в оновлення обладнання ТЕЦ і котелень, то діючий порядок призначення тарифів на теплову енергію регулятором за принципом “від витрат” істотно знижує зацікавленість в реальному підвищенні ефективності системи центрального теплопостачання, йдеться в Енергостратегії [5].

За даними Міжнародного енергетичного агентства, кожен долар, інвестований в енергоефективність, обернеться 4 доларами економії, причому такий проект повністю окупиться приблизно за чотири роки [13]. По за сумнівом, в Україні потрібна модернізація активів галузі, зниження втрат енергії та підвищення якості послуг теплогенеруючих і теплопостачальних підприємств. У багатьох випадках, при цьому, спеціалісти й зовнішні підрядники, обладнання, необхідне для виконання певної роботи, а також фінансові ресурси, повинні розподілятися з урахуванням потреби інших робіт у цих ресурсах. У зв'язку з цим особливою актуальності набуває адаптація адекватних і ефективних економіко-математичних моделей та методів аналізу в процесі прийняття рішень щодо модернізації комунальної теплоенергетики

в Україні, за допомогою яких можна визначати тривалість робіт, інтенсивність споживання ресурсів, раціонально і збалансовано розподіляти трудові, матеріальні і фінансові ресурси по кожному виду взаємопов'язаних робіт, виконання яких вимагає дотримання певної технологічної послідовності, якими є моделі мережевого планування і управління.

Отже, для підвищення ефективності планування виконання істотних за обсягами, вартістю і часом ремонтних і будівельних робіт, управління іншими проектами, що складаються з великої кількості взаємопов'язаних робіт, які мають виконуватись у певній технологічній послідовності, потребують встановлення термінів і контролю з метою досягнення певної цілі, можуть використовуватися мережеві моделі і такі методи управління проектами як метод критичного шляху (critical path method, CPM) та метод оцінки і перегляду планів (Program Evaluation and Review Technique, PERT), розроблені незалежно один від одного, хоч і майже одночасно – наприкінці 50-х років ХХ ст. [14, с. 309 – 313].

У сучасних реаліях стрімкого розвитку нових інформаційно-комунікаційних технологій, які формують інформаційне суспільство та, зокрема, інформаційну економіку, й інтелектуальним ядром яких є моделювання [15], підвищити рівень економічної безпеки, ефективність використання факторів виробництва, добробут населення можна за рахунок вирішення завдань розподілу і використання ресурсів необхідних для модернізації, реконструкції та заміни обладнання теплових пунктів і теплових мереж підприємств теплоенергетики України, скорочення термінів виконання окремих робіт для зменшення загальної тривалості проекту та визначення допустимих затримок для подальшої координації здійснення проекту на базі комп'ютерної техніки та мережевих моделей і методів. Пропоновані моделі можуть бути реалізовані за допомогою комп'ютерної програми "Project Standard 2016" [16] та інших програмних продуктів [17] і дозволятимуть встановлювати послідовність і терміни використання обмежених ресурсів протягом усього періоду реалізації проекту, проводити динамічне регулювання термінів початку кожного виду робіт, здійснювати оптимальний розподіл засобів, відведених на проект, за критерієм скорочення тривалості усього проекту, виконувати аналіз компромісних співвідношень між витратами і термінами виконання різноманітних робіт з урахуванням наявного резерву часу.

В Україні вже прийняті спеціальні положення щодо правових засад реалізації енергосервісних договорів – закони [18], [19], Національний план дій з енергоефективності на період до 2020 р. [20] та започатковано на державному рівні механізм співфінансування впровадження енергоефективних заходів для населення – фізичних осіб та об'єднань співвласників багатоквартирних будинків/житлово-будівельних кооперативів у рамках Програми, фінансування заходів якої у 2016 р. було збільшено до 893,84 млн. грн [21], розроблено концепцію функціонування Фонду енергоефективності. Ключовим пріоритетом Уряду України стало запровадження нових механізмів стимулювання підвищення енергоефективності на стороні споживання, у той час як за оцінками експертів 80 % втрат тепла відбувається в місцях його генерування і транспортування. Частина теплокомуненерго в Україні не є державними, їх контролюють комерційні компанії. Упродовж року ці підприємства споживають більш ніж 7 млрд. м<sup>3</sup> газу, але платять тільки за 4,9 млрд., скаржаться на брак коштів, однак не полишають цього бізнесу.

Подоланню іміджу однієї з найбільш енергоінтенсивних країн у Європі, скороченню споживання газу в Україні, необхідності у покритті з бюджету різниці в тарифах для теплокомуненерго можна досягти, коли зменшувати собівартість послуг, обліковувати і прибирати втрати тепла, що дозволить модернізація котелень і тепломереж. Застосування сучасних інформаційних технологій та мережевих моделей і методів, що дозволяють одночасно врахувати усі економічні та фізичні умови і знаходити найкращий варіант під час модернізації комунальної теплоенергетики, забезпечуватиме прийняття рішень на користь систем енергопостачання, які є найвигіднішими для забезпечення енергоспоживання з позицій безпеки, надійності (безперебійності), якості постачання енергії і надання енергетичних послуг, доступних за ціною та привабливих за екологічними наслідками.

### 3.28. Управління відтворенням біоенергетичних ресурсів у сільському господарстві

© Мармоль Л. О.

*д.е.н., професор, професор кафедри економіки,  
Переяслав-Хмельницький державний педагогічний університет ім. Г. Сковороди,  
м. Переяслав-Хмельницький, Україна*

В умовах вибору Україною європейського шляху розвитку, здійснення євроінтеграційних реформ на вимогу міжнародних та європейських інституцій, відповідно до Угоди про Асоціацію з ЄС важливе значення має імплементація понад 350 актів європейського законодавства у господарську й повсякденну життєдіяльність населення до 2025 р. На 2016 р. у процесі імплементації знаходилося лише 44 з них, у т.ч. 16 – з енергетики, 15 – з охорони довкілля. Дійсно, саме ці напрями, як і

продовольча безпека, знаменують змістовні індикатори виживання людського суспільства у перспективі. Тому сучасна життєдіяльність не уявляється без енергоощадності й вирішення енергетичних та інших глобальних проблем.

Вагому частку у їх сукупності займає енергетика, її потенціал та використання. Тому джерела й технології виробництва та відтворення енергетичних ресурсів, маркування енергоємних товарів і продукції завжди знаходяться у центрі уваги державних інститутів та їх функціонування у напрямі раціонального інституційного забезпечення; здійснення бізнес-процесів, іншої діяльності, систем управління на рівні підприємств і організацій.

Питання щодо сутності і практичного обґрунтування біоенергетичного потенціалу розглядалися у наукових публікаціях таких вітчизняних вчених: В. А. Борисова, В. І. Гавриш, Б. М. Данилишин, П. М. Макаренко, Я. Б. Олійник, Т. І. Пономаренко, М. Д. Руденко, В. К. Савчук, М. С. Самойлік, Є. В. Хлобистов, Б. С. Федорченко та інших. Проте аналітична оцінка наявного біоенергетичного потенціалу аграрних підприємств та теоретичне й практичне обґрунтування сучасного стану його використання й управління перспективним розвитком на засадах контролінгу потребують поглиблених розробок.

Біоенергетичний потенціал аграрних підприємств формують первинні ресурси у вигляді спеціального виробництва енергетичної рослинної біомаси (ріпаку, соняшнику, кукурудзи, верболозу та ін.), вторинні відходи аграрного, промислового й домашнього виробництва або переробки сільськогосподарської й деревної сировини (солома, лушпиння насіння, чубуки винограду й залишки від обрізки дерев; кора, тирса, щепи та ін. деревні відходи; макуха; гній у тваринництві) [1]. При цьому вони забезпечують не тільки виробництво біоетанолу й біодизелю, але й деревних пелет, паливних брикетів і гранул.

На півдні країни до цього долучаються також по-суті, необмежені запаси верболозу та очерету дельти Дніпра, інших степових рік, ресурси рисової соломи рисосіючих господарств [2, с. 103]. Їх використання дозволить реалізувати виробничо-економічне завдання енергоощадності; збереження традиційних видів невідновних енергетичних ресурсів – вугілля, газу, нафти, торфу, дров; зменшення собівартості за рахунок цього продукції та послуг. Також це сприятиме виконанню еколого-виробничих завдань очищення дельти рік, заплав озер і ставків від масивів верболозу, очерету, осоки, які щорічно знищують пожежами на тисячах гектарів, наносячи непоправну шкоду фауні та флорі, забруднюючи повітря міських і сільських населених пунктів.

Також це еколого-виробниче завдання продуктивного використання рисової соломи, яка, на відміну від інших видів, не має великого попиту у тваринництві; збереження від несанкціонованих вирубок в умовах дефіциту та дорогого традиційного палива деревних насаджень, які для сухостепової зони країни є справжнім національним надбанням. У соціально-економічному відношенні розвиток біоенергетичного потенціалу аграрних підприємств означає, як вказує М. Самойлік, збільшення зайнятості населення та зростання добробуту, особливо на рівні сільських родин у віддалених селах; скорочення витрат на утримання закладів соціальної інфраструктури для сільських громад [3, с. 39].

Проте впровадження біоенергетичних технологій в аграрні та промислові виробництва стримується через недовіру та слабку поінформованість як виробників, так і споживачів продовольчої продукції. Тому доцільним є проведення на рівні сільських громад слухань, зустрічей, тренінгів, круглих столів з інформуванням про наявні джерела, переваги, вигоди такої роботи; надання консалтингових послуг з відповідними розрахунками. Важливе значення має обґрунтування та впровадження бізнес-планів й інвестиційно-інноваційних проектів; видання відповідних науково-методичних розробок та рекомендацій щодо здійснення системного управління на засадах організації процесів контролінгу [4, с. 158].

Особливо важливим є використання нетрадиційного біоенергетичного потенціалу сільського господарства в умовах малолюдних сільських поселень, віддалених одне від одних й енергетичних підприємств на значні відстані. В таких умовах важко технічно й недоцільно економічно здійснювати енергозабезпечення життєдіяльності традиційними методами та енергоресурсами. Досить високовартісним для сільського населення є встановлення сонячних батарей та вітроустановок – відповідно, від 10 до 25 тис. євро при терміні окупності 10 – 15 років. Це можливо за умови бюджетної підтримки, але за наявного дефіциту бюджету, великого державного боргу, значних соціальних виплат, інших першочергових бюджетних видатків у найближчий час назване не уявляється можливим.

З іншої сторони, підвищення цін на традиційні енергоносії у 2 – 3 разів і більше зробило використання їх на побутові й виробничі потреби практично не доступним. Також воно не тільки призводить до підвищення собівартості продукції та послуг, але й до масштабних несанкціонованих вирубок лісу, лісосмуг, полезахисних, садових і виноградних насаджень [5, с. 130]. Слід зазначити, що у кінці 40-х – протягом 50-х років була здійснена виняткова у світовій практиці меліорація довкілля через насадження лісів, що в сільськогосподарських природних зонах, особливо у степовій та сухостеповій, було досить складно та високовартісно.

Тому вирубки штучних рослин і кущів при загальних вкрай недостатніх показниках заліснення території на площі 4,6 – 5,4 % від загальної призводить до згубних наслідків в різних площинах погіршення екологічної ситуації та умов життєдіяльності, зменшення ефективності аграрного й інших видів виробництва, погіршення умов функціонування та розвитку сільських територій загалом [6, с. 14]. Враховуючи, що потенціал переробки біоенергетичних видів продукції та відходів сільськогосподарського виробництва можна збільшити, принаймні, у двадцять – сорок разів, це дозволить покрити 60 – 120 % обласних потреб у природному газі для населення й виробництва.

Це тим більше актуально у зв'язку з тим, що енергогенеруючі підприємства країни мають зношені або застарілі виробничі потужності та потребують капітальної реконструкції й модернізації. До цього слід додати практично невичерпні ресурси верболозу як природного біопалива у дельті рік. У Європі, США, у світі загалом виробництво альтернативних енергоресурсів зростає значними темпами. Розроблені спеціальні урядові програми у цьому напрямі діяльності.

При цьому, як вказує А. Назаренко, можна організовувати як нові, спеціалізовані агроенергетичні підприємства, так і використовувати ресурси й можливості аграрних, промислових, енергетичних та інших вже функціонуючих підприємств, селянських та домашніх господарств [7, с. 75]. Проте організація виробництва біоенергоресурсів безпосередньо на місці утворення сировини для них сприятиме зменшенню транзакційних витрат, отже, собівартості й ціни та підвищенню конкурентоспроможності продукції. З іншої сторони, це сприятиме не тільки вказаним вигодам, збільшенню дохідності агроформувань, але й скороченню сезонності у роботі, продуктивному використанню трудових ресурсів та соціальному забезпеченню споживачів дешевим паливом та електроенергією.

В якості додаткових затрат найбільшу питому вагу матиме придбання відповідного обладнання й технологій переробки сировини та зберігання готової продукції. Інша вагома стаття витрат на думку Г. Гелетухи – це навчання або залучення нових фахівців [8]. Також вагоме значення має вдале використання тих або інших маркетингових стратегій для просування готової продукції на ринках збуту й реалізації, вибору рекламних засобів, інструментів і механізмів логістики, каналів збуту, способів продаж.

До здійснення вказаних процесів доцільно залучити програмне забезпечення й віртуальні мережі. Як вважає М. Ігнатенко, найбільш вдалими методами в організаційно-економічному відношенні можуть бути інструменти контролінгу сучасного й відповідного та результативного підходу до системного управління на засадах соціальної відповідальності агробізнесу [9, с. 186]. Також виняткове значення матиме здійснення сертифікації відповідних виробництв та впровадження енергетичних стандартів використання альтернативних джерел біопалива.

Певну інерційність вітчизняних підприємств агросфери у розвитку біоенергетичного потенціалу на основі використання відходів власного виробництва доцільно подолати на засадах контролінгу. Саме інструменти процесного контролінгу дозволять найбільш обґрунтовано, на основі всебічного моніторингу та впровадження відповідних інновацій, удосконалити існуючі та організувати нові бізнес-процеси. Управління ними також доцільно здійснювати, хоча б на етапі становлення, на основі формування центрів відповідальності за принципами контролінгу.

## Розділ 4

# ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ОЦІНКА БІОЕНЕРГЕТИЧНОГО ПОТЕНЦІАЛУ В ГАЛУЗЯХ І ГОСПОДАРСЬКІЙ СТРУКТУРИ НАЦІОНАЛЬНОЇ ЕКОНОМІКИ

### 4.1. Енергозберігаючі аспекти органічного землеробства

© Писаренко В. М.

*д.с.-г.н., професор, професор кафедри екології, охорони навколишнього середовища та збалансованого природокористування, Полтавська державна аграрна академія, м. Полтава, Україна*

© Писаренко П. П.

*здобувач наукового ступеня доктора філософії,  
Полтавська державна аграрна академія, м. Полтава, Україна*

Світова спільнота стурбована тим, що процеси деградації природи наростають, погіршуються умови життєдіяльності людини. Це пов'язано з тим, що вміст шкідливих для здоров'я речовин у повітрі, воді, ґрунті, продуктах харчування часто досягає критичних показників [11]. У зв'язку з цим все актуальнішим стає необхідність широкого впровадження природоохоронного господарювання, основою якого є органічне землеробство, що забезпечує збереження і примноження родючості ґрунтів, отримання екологічно безпечних продуктів харчування, збереження біосфери планети [6; 7].

За визначенням, наведеним у Постанові Ради ЄС 834/2007, “органічне виробництво – цілісна система господарювання та виробництва харчових продуктів, яка поєднує в собі найкращий досвід з огляду на збереження довкілля, рівень біологічного різноманіття, збереження природних ресурсів, застосування високих стандартів належного утримання тварин та метод виробництва, який відповідає певним вимогам до продуктів, отриманих із застосуванням речовин і процесів природного походження”.

В Україні у 2015 р. зареєстровано 155-виробників органічного виробництва, а до кінця 2016 р. очікується понад – 180, що становить 0,05 % від загальноєвропейського рівня та відповідає 33 місцю серед 44 країн Європи, де розвивається органічне виробництво (табл. 4.1).

Таблиця 4.1

**Кількість господарств-виробників в окремих країнах  
України та Європи за розмірами їх органічного землеробства**

Країни	Кількість господарств-виробників органічної продукції			Загальна площа сільгоспугідь під органічним землеробством, тис. га			Частка сільгоспугідь під органічним землеробством в загальній площі, %			Середня площа земель в користуванні на одного виробника органічного землеробства, га		
	2013 р.	2014 р.	2015 р.	2013 р.	2014 р.	2015 р.	2013 р.	2014 р.	2015 р.	2013 р.	2014 р.	2015 р.
Україна	72	142	155	242	270,2	270,3	0,59	0,65	0,65	3360,8	1903,0	1743,9
Польща	7182	20578	23430	159,7	522,0	609,4	1,08	3,37	3,94	22,2	25,4	26,0
Чеська республіка	829	3517	3904	255,0	448,2	460,5	5,99	10,55	10,84	307,6	127,4	118,0
Словаччина	196	363	365	90,2	174,5	166,7	4,8	9,01	8,61	460,2	480,7	456,7
Угорщина	1553	1577	1433	128,6	127,6	124,4	3,01	3,02	2,94	82,8	80,9	86,8
Румунія	2920	2986	9471	92,8	182,7	229,9	0,67	1,33	1,67	31,8	61,2	24,3
Молдова	121	166	172	11,1	32,1	22,1	0,44	1,3	0,89	91,5	193,4	128,5
Європа, всього	187686	277362	291451	6760,3	100002,1	10637,1	1,39	2,1	2,19	36,0	36,1	36,5
Російська федерація	10	50	49	4,0	44,0	126,8	0,00	0,02	0,06	404,9	880,3	2587,8

*Джерело: розрахунки авторів*

Україна має сорокарічний досвід виробництва екологічно безпечної продукції рослинництва та тваринництва, відтворення родючості ґрунту. Це – ПП “Агроекологія” на Полтавщині, в Шишацькому районі. Опираючись на ідеї, досвід і дослідження Василя Докучаєва, Володимира Вернадського, видатного аграрія Терентія Мальцева, засновник господарства Семен Свиридонович Антоненко, Герой



Соціалістичної Праці, Герой України, почесний академік НААН, вперше в новітній аграрній історії України створив унікальну модель системи органічного землеробства, філософським підґрунтям якої є концептуальні основи розвитку біосфери [5].

Вона базується на збереженні та примноженні родючості ґрунту, отриманні екологічно безпечної продукції та збереженні біосфери.

Отже, основа філософії органічного землеробства Семена Антонця базується на створенні агроєкосистем максимально наближених до природних формацій. Система враховує базовий принцип розвитку планети, оскільки виникнення життя на Землі було забезпечено двома глобальними процесами, які і зараз, і в майбутньому будуть підтримувати розвиток біосфери. До них належить фотосинтез і азотфіксація в усіх її проявах [6]. Саме регулюванню цих процесів найбільшою мірою і підпорядковане органічне землеробство.

Лейтмотивом системи органічного землеробства є розуміння того, що глобальні проблеми екології вирішуються локально за рахунок розробки технологічних прийомів, які є сприятливими для існування біосфери (рис. 4.1).

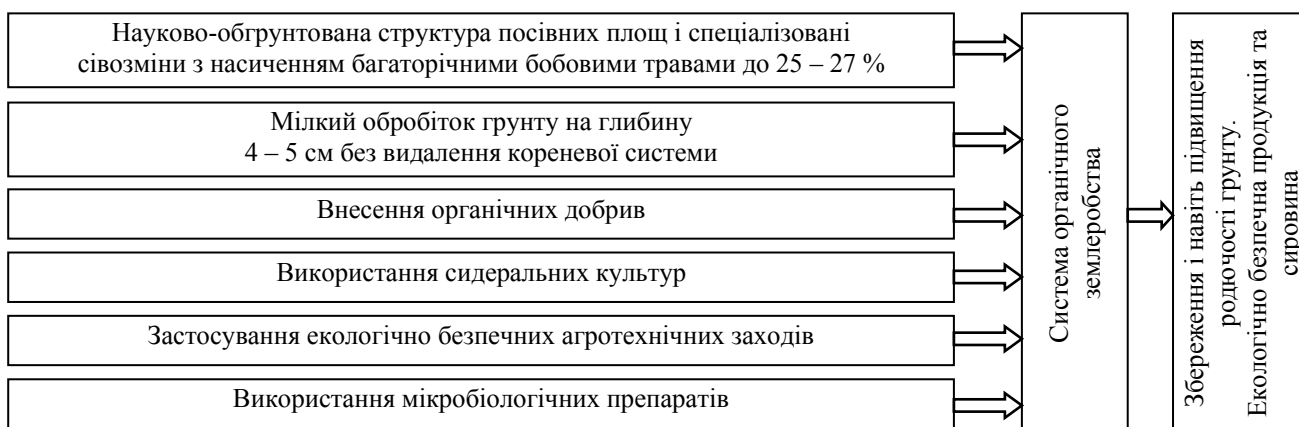


Рис. 4.1. Модель системи органічного землеробства

Джерело: авторська розробка

Науково обґрунтована структура посівних площ на основі полікультури, забезпечує біорізноманіття у системі агробіоценозу. Біологи визначають такий підхід як ефект агрофітоценології. В основу даної ідеї і практики покладено бажання і можливість включення в сівозміну максимально доцільної кількості культур, які формують оптимальні умови режиму живлення рослин та оптимізації фітосанітарного стану посівів [2].

Практично протягом усього вегетаційного періоду на полях господарства є квітучі рослини, які покращують умови існування місцевих корисних організмів, що сприяє зменшенню кількості шкідників і пригнічує розвиток збудників хвороб рослин.

Ураженість злакової попелиці афідідами в посівах ячменю ярого з підсівом еспарцету становила 46,8 – 54,2 %, тоді як в посівах цієї ж культури за інтенсивного землеробства де здебільшого вирощується 3 – 4 культури, не перевищувала 18,3 %.

Відсутність використання пестицидів, мілкий обробіток ґрунту та ботанічна різноманітність рослин за органічного землеробства стимулює збільшення видового складу та чисельності хижих турунів. Їх кількість на полях досліджуваного підприємства була на 20 % більша, ніж у посівах зернових колосових культур за інтенсивних технологій. Динамічна щільність хижих карбід за роки досліджень (2014 – 2016 рр.) залежно від видового складу і погодних умов за органічного землеробства перевищувала цей показник на полях з інтенсивною технологією на 32,6 – 51,2%. У зв'язку з цим стає зрозумілим, чому кількість шкідливих личинок дротяників і несправжніх дротяників перед сівою кукурудзи і соняшнику, основними хижаками яких є хижі туруни, як правило, не перевищувала економічних порогів шкідливості, які становлять 3 – 5 особин на 1 м<sup>2</sup>.

Про позитивний вплив органічного землеробства свідчать матеріали досліджень з визначення інтенсивності розвитку борошнистої роси на рослинах пшениці озимої і ячменю ярого, коли у фазі колосіння фактичні показники ураженості не перевищували порогової інтенсивності розвитку хвороби – 15 – 20 % ураженого листового апарату рослин.

Отже, оптимізація фітосанітарного стану посівів за органічного землеробства базується на природному регулюванні шкідливих і корисних організмів.

Оптимізація живлення рослин та формування позитивного балансу гумусу за органічного землеробства забезпечується за рахунок багаторічних бобових трав, сидератів, гною та нетоварної частки

врожаю. Загальний об'єм органіки, котра поступає в агробіоценоз досягає 24 – 26 т/га в розрахунку на сівозмінну, та 100 – 120 т/га на удобрену площу. У якості сидератів використовуються еспарцет, вика яра, вико-вівсяна сумішка, гречка, редька олійна, гірчиця біла (табл. 4.2).

Таблиця 4.2

**Агрохімічна характеристика рослин-сидератів, здійснена розрахунково-еквівалентним методом**

Сидерат	Урожайність зеленої маси, ц/га	Накопичено в загальній біомасі поживних речовин, кг/га			Разом, кг/га	У туках, кг/га <sup>1)</sup>
		N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O		
Еспарцет	275	145	25	75	245	510,4
Вика яра	250	160	75	200	435	906,3
Вико-вівсяна суміш	275	120	35	80	235	489,6
Гірчиця біла	250	60	40	90	190	395,8
Редька олійна	450	85	65	245	395	822,9

<sup>1)</sup> розрахунок кількості діючої речовини у туках проводився на основі їхнього вмісту у комплексному мінеральному добриві – нітроамофосці

*Джерело: авторська розробка*

Використання сидеральних культур (як органічних добрив) забезпечують накопичення значної кількості поживних речовин, які в подальшому використовуються сільськогосподарськими культурами.

Велику кількість органічних добрив у господарстві забезпечує галузь тваринництва, яка в рік виробляє понад 72 тис. т. гною, відкриваючи перспективу дійсної гармонізації “взаємовідносин” між тваринництвом і рослинництвом. Внесення гною забезпечує елементами живлення рослини, органічною речовиною ґрунт, поліпшує його фізичні та хімічні властивості водний та повітряний режим, підвищує інтенсивність мікробіологічних процесів у ґрунті та вміст вуглекислого газу у приземному шарі атмосфери. Останній чинник позитивно впливає на інтенсивність фотосинтезу рослин і в кінцевому результаті підвищує урожайність сільськогосподарських культур [7; 8].

Головною вимогою мілкої обробки ґрунту є підрізання кореневої системи на глибині 4 – 5 см без видалення її з ґрунту. При цьому не руйнуються мікроканали, створені черв'яками та коренями, що розкладаються, формується вертикальна орієнтація пор аерації, зменшується щільність та покращуються водно-фізичні властивості ґрунту, а в поєднанні з багаторічними бобовими травами, ліквідується плужна підшва, проходить природне рихлення ґрунту.

У системі органічного землеробства розроблені прийоми максимального використання енергії Сонця за рахунок покриття рослинами ґрунту практично протягом усього вегетаційного періоду. Рослини основних культур, сидерати, сходи падалиці вико-вівсяної сумішки, злакових культур, постійно покривають ґрунт, що підвищує коефіцієнт використання падаючої енергії сонячної радіації за рахунок максимальної активності їхнього фотосинтетичного апарату.

Отже, практичне значення цієї тези у системі органічного землеробства сприяє максимальному використанню енергії Сонця для формування врожаю зерна і зеленої маси та підвищенню родючості ґрунту. Цей висновок підтверджує вислів К. А. Тімірязєва [12], що кожен сонячний промінь не вловлений зеленою поверхнею полів, луків і лісів – це назавжди втрачене багатство. Важливою для нас є й інше твердження класика фізіології: “Из не имеющих цены солнечного света и воздуха, посредством зеленого листа, растения производят имеющую ценность энергию”.

Використовуючи методики біоенергетичної оцінки сільськогосподарського виробництва [1] і наші експериментальні матеріали ми визначили, що при вирощуванні вики ярої як сидерату, при урожайності її зеленої маси 250 ц/га, після мінералізації органічної речовини у ґрунті залишається: азоту (N) – 160 кг, фосфору (P) – 75 кг, калію (K) – 200 кг. Така кількість макроелементів за рахунок фотосинтезу і азотфіксації утворюється за допомогою 1395 МДж енергії сонячної радіації. Для виробництва такої ж кількості діючої речовини макроелементів промисловим методом потрібно 16493 МДж енергії (рис. 4.2).

Отже, для вирощування наступних культур у сівозміні, надходження в ґрунт макроелементів за рахунок енергії сонячної радіації є менш енерговитратним, ніж використання енергії, отриманої промисловим шляхом (16493 МДж : 1395 МДж), у 11,8 рази.

Важливою ланкою системи є також застосування екологічно безпечних агротехнічних заходів, котрі стримують розвиток шкідливих організмів за рахунок дотримання регламентів технологічних заходів та дії принципів агрофітоценології та алелопатії, сприяють оптимізації фітосанітарного стану посівів.

На перший погляд це відомі істини землеробства, але в органічній системі кожен з цих напрямків наповнений новими заходами, спрямованими на створення екологічної ситуації, котра гальмує розвиток шкідливих організмів та сприяє отриманню потенціальної продуктивності культурних рослин без використання агрохімікатів.

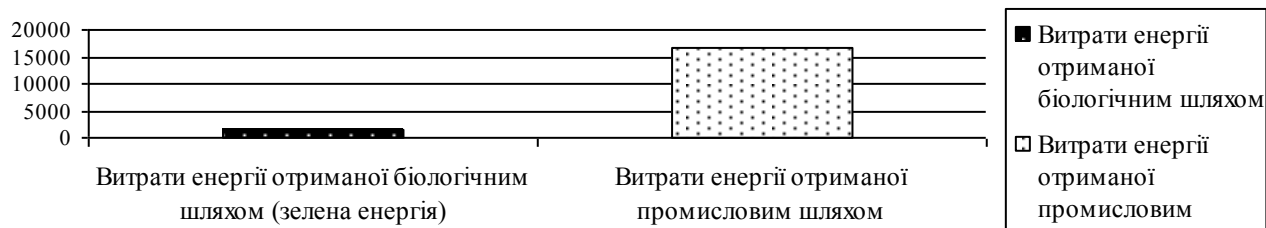


Рис. 4.2. Витрати енергії виробленої біологічним (зелена енергія) і промисловим шляхом для вирощування 70 ц/га зерна пшениці озимої

Джерело: розрахунки авторів

Застосування органічної системи землеробства збільшує рівень захисту ґрунту від ерозії, який базується на двох основних принципах – мілкому обробітку ґрунту та постійному покриттю ґрунту рослинами та їх рештками. Поряд з відомими прийомами збереження ґрунту [4; 9] на підприємстві використовують ряд нових заходів, що гармонійно входять до технологій вирощування польових культур. Це й широке використання багаторічних трав, мілкий обробіток ґрунту, наявність рослинного покриття ґрунту протягом вегетаційного періоду, сівба впоперек схилів, залишення на полі стерні після збирання технічних культур та валків пшениці озимої по стерні впоперек схилу на зиму, залуження ерозійно небезпечних ділянок.

За роки застосування органічного землеробства, під впливом чинників системи, вміст гумусу, головного показника родючості ґрунту та ефективності технологій, на полях підприємства зріс на 0,53 – 1,57 %. Особливо відчутний процес ґрунтоутворення на еродованих землях, урожайність котрих за цей період практично досягла показників на рівнинних полях.

При цьому неможливо переоцінити у підвищенні родючості ґрунту роль дощового черв'яка. Саме його потрібно вважати великим творцем ґрунтового багатства, який створює легкозасвоювані поживні сполуки із органіки. Прокладаючи багатокілометрові ходи в ґрунті, черв'яки розпушують його, збагачують своїми виділеннями – копролітами (до 100 і більше т/га), покращують структуру ґрунту. У екологічно цілісному ґрунті його ходи лишаються не зруйнованими протягом трьох років; прориті ним ходи та мікроканали забезпечують циркуляцію у зоні кореневої системи вологи і повітря, створюючи оптимальні умови для життєдіяльності культурних рослин [3].

За органічного землеробства чисельність дощових черв'яків значно вища, що може вказувати на їх користь для підвищення родючості ґрунту за цієї системи (табл. 4.3).

Таблиця 4.3

**Заселеність орного шару ґрунту дощовими черв'яками при різних системах землеробства, шт/м<sup>2</sup>**

Варіанти обстежень	Роки			
	2014	2015	2016	2014 – 2016
Технології органічного землеробства	48	37	54	46,3
Інтенсивні технології	15	16	15	15,3

Джерело: дослідження авторів

“Тож знімемо капелюха перед звичайним черв'яком”. Ці пророчі слова Ч. Дарвіна, як ніколи актуальні для органічного землеробства. Як би парадоксально це не звучало, однак наше благополуччя на цій Землі значною мірою залежить від черв'яків.

Підтвердженням ефективності системи є економічні показники підприємства. На понад 7 тис. га оздоровленої землі без застосування пестицидів та мінеральних добрив ПП “Агроєкологія” щорічно виробляє 13 тис. т високоякісного молока, 1,2 тис. т м'яса. На багатьох площах підприємство отримує врожаї рівня інтенсивного землеробства: пшениці озимої понад 70 ц/га, кукурудзи на силос – 500 ц/га, на зерно – 78 ц/га, ячменю ярого – 48 ц/га, вівса – 60 ц/га, соняшнику – 35 ц/га. Рентабельність галузі рослинництва – 42 %, вся його продукція має швейцарський сертифікат якості Bio Suisse.

Важливою умовою ведення господарства за системою органічного землеробства є наявність високорозвиненого тваринництва. У ПП “Агроєкологія” це сучасна галузь, яка дозволяє переробляти вирощені на власних полях зерно й кормові культури на цінний кінцевий продукт – молоко й м'ясо, що є основою економічної ефективності господарювання. Загалом підприємство має понад шість тисяч голів великої рогатої худоби української червоно-рябої та м'ясної абердин-ангуської порід.

Оскільки корів годують екологічно чистими кормами, молоко має високі показники якості, сертифіковане як сировина для виробництва молочної продукції дитячого харчування. Рентабельність виробництва молока за останні роки становила близько 51 %, яловичини – 48,3 %.

Отже, ПП “Агроекологія” – це підприємство з особливою системою ведення сільськогосподарського виробництва, де впровадження органічної системи землеробства сприяє вирішенню агрономічних, тваринницьких, економічних, соціальних та інших проблем і забезпечує сталий розвиток підприємства (рис. 4.3).

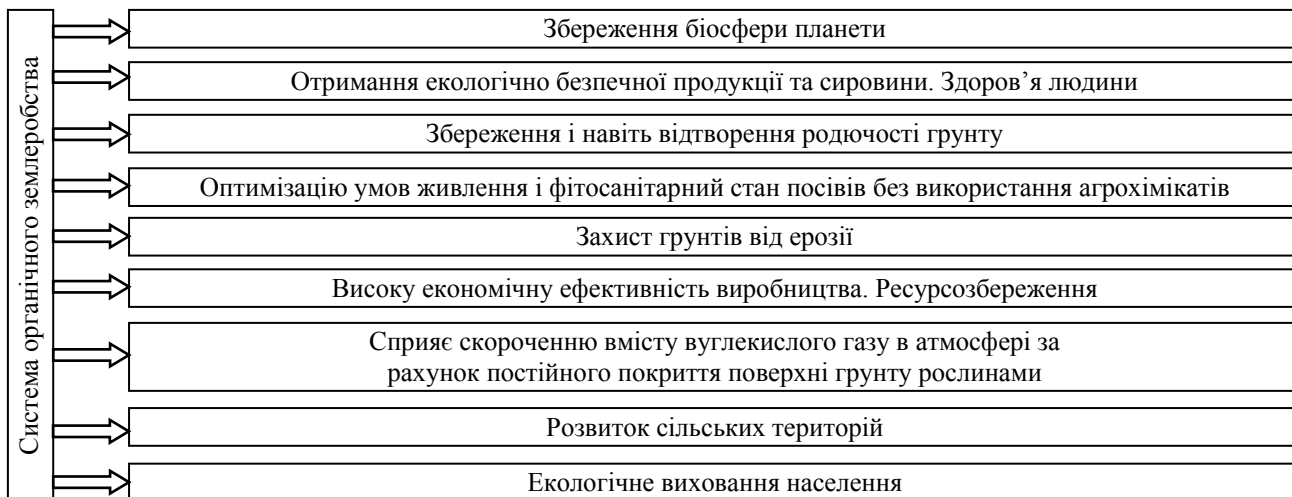


Рис. 4.3. Модель оптимізації розвитку агроекосистеми на основі органічного землеробства  
Джерело: авторська розробка

У ПП “Агроекологія” має унікальний успішний досвід довгострокового органічного виробництва, котрий доводить, що система органічного землеробства на фоні поліпшення родючості ґрунту дозволяє вирощувати врожаї на рівні інтенсивних технологій, але найголовніше – отримувати екологічно безпечну для здоров'я людей продукцію, доводить, що кожен може вирішувати проблему отримання продуктів здорового харчування, а також глобальну екологічну проблему збереження планети, локально у себе у господарстві.

“Поставте на перше місце Людину – тоді у нас буде й органічне землеробство і процвітаюча здорова держава” – кредо і суть філософії органічного землеробства. “Дорогою майбутнього, землеробством ХХІ ст.” називають органічне виробництво вчені, котрі працюють у цьому напрямку, тому створена у підприємстві модель органічного землеробства входить яскравою сторінкою в новітню історію України і світу, і є вищим рівнем модернізації суспільства, спрямованої на добробут і сталий розвиток цивілізації.

Вирішити проблему широкого впровадження органічного землеробства у виробництво посилено нинішньому поколінню українців. Є унікальний досвід, є наукові розробки, потрібно бажання і рішучі дії лідерів нації. Ця проблема повинна бути поставлена в ранг державної програми і тоді виграють всі: держава, нація, нинішнє і майбутні покоління українців.

#### 4.2. Енергозберігаючі технології виробництва цукру

© Мельник С. І.

*ст. викладач кафедри теоретичної, загальної та нетрадиційної енергетики,  
Одеський національний політехнічний університет, м. Одеса, Україна*

© Никутьшин В. Р.

*д.т.н., професор, завідувач кафедри теоретичної, загальної та нетрадиційної енергетики  
Одеський національний політехнічний університет, м. Одеса, Україна*

© Белоусов А. В.

*здобувач вищої освіти, зав. лабораторією Українсько-польського інституту,  
Одеський національний політехнічний університет, м. Одеса, Україна*

Енергоспоживання в цукровому виробництві йде, в основному у вигляді теплоти, на проведення технологічних процесів: випаровування води з соку, уварювання утфелю, нагрівання стружки для проведення дифузійного процесу, нагрівання соків в процесі очищення, а також на компенсацію втрат теплоти.

Тепловий баланс типового цукрового заводу представлений в табл. 4.4.

Таблиця 4.4

Тепловий баланс типового цукрового заводу

Найменування показника		Кількість теплоти, кДж/кг	Частка теплоти, %
Прихід теплоти			
1.	Гріючий пар з ТЕЦ	1471,86	71,98
2.	Сировина	37,71	1,84
3.	Барометрична вода	169,35	8,28
4.	Вапняне молоко і сатураційний газ	62,26	3,04
5.	Електроенергія	76,59	3,74
6.	Повернення конденсату з ТЕЦ	146,65	7,17
7.	Повернення жомпресової води	80,48	3,94
Всього		2044,88	100,00
Витрата теплоти			
1.	Конденсат в ТЕЦ	482,68	23,60
2.	Конденсат в аміачний збірник	257,18	12,58
3.	Жом віджатий	138,18	6,76
4.	Цукор	12,06	0,59
5.	Фільтраційний осад	21,70	1,06
6.	Пар на конденсатор	527,94	25,82
7.	Аспірація	6,28	0,31
8.	Теплові втрати через поверхню обладнання і трубопроводи	477,40	23,35
9.	Теплові втрати при 1-й сатурації	74,16	3,63
10.	Теплові втрати при 2-й сатурації	28,99	1,42
11.	Сульфитація води	10,60	0,52
12.	Сульфитація соку	5,65	0,28
13.	Сульфитація сиропу	2,01	0,10
Всього		2044,88	100,00

Джерело: [4]

Розгляд джерел енергетичних втрат [2] дозволив сформувати наступні три групи енергозберігаючих опцій:

1. Опції, що використовують вторинні енергоресурси:

- використання гарячого соку на клеровку жовтого цукру;
- використання утфельної пари;
- обігрів вакуум-апаратів утфельної парою;
- використання теплоти конденсатів для нагріву відтіків в продуктовому відділенні;
- використання конденсату для нагрівання дифузійного або дефекованого соку;
- використання конденсату для нагрівання соку 1-ї сатурації перед фільтрацією (відстійниками);
- використання конденсату для нагріву соку перед 2-ю сатурацією і соку перед випарною установкою;
- використання теплоти сатураційних газів;
- використання деаеронованих конденсатів і жомпресової води для живлення дифузійних установок;
- використання утфельної пари для нагріву дифузійного або дефекованого соку.

2. Опції, що змінюють параметри енергоносіїв:

- компресія вторинної пари багатокорпусної випарної установки (БВУ);
- зниження температури відбору дифузійного соку;
- зниження температури гарячої дефекації, процесу 1-ї та 2-ї сатурації;
- використання теплоти неконденсуючих газів;
- зниження повернення нефільтрованого соку 1-ї сатурації, в тому числі повернення густої суспензії;
- застосування комбінованого пробілювання цукру;
- підвищення розрідження в вакуум-апаратах за рахунок зниження підсосів повітря, поліпшення роботи конденсаційної установки, зниження аеродинамічних втрат в трубопроводах.

3. Опції, що засновані на конструктивно-компонувальних рішеннях (структурні зміни):

- застосування гідродинамічного випарника;
- перенос паровідбору на кінцеві корпуси БВУ;
- збільшення числа корпусів БВУ;
- поліпшення циркуляції утфелю в вакуум-апараті вдуттям пари, аміачних газів, повітря;
- нагрів відтіків в продуктовому відділенні в пластинчастих підігрівачах;
- зниження надходження пари з останнього корпусу в конденсатор;
- поліпшення теплової ізоляції обладнання і трубопроводів;
- відведення пропарювання вакуум-апаратів в клеровочні мішалки.

Неважко бачити, що виявлені потенціали енергозбереження можуть служити основою для подальшого пошуку раціональних варіантів схем виробництва цукру. Однак, слід враховувати, що реалізація більшості з них (наприклад, використання утфельної пари, компресія вторинної пари БВУ, перенесення паровідбору на кінцеві корпуси, збільшення числа корпусів БВУ тощо) потребує істотних капітальних вкладень. Тому, остаточне рішення про застосування конкретних енергозберігаючих опцій вимагає проведення відповідної термодинамічної оцінки [5; 6], яка, як відомо, передбачає проведення термодинамічного аналізу системи з розрахунком відповідних ексергетичних потоків і втрат ексергії як в окремих елементах цукрового виробництва, так і в системі в цілому.

Розглянемо типову технологічну схему виробництва цукрового заводу продуктивністю 3000 т/добу сировини і визначимо відповідні ексергетичні показники за методикою, що викладена в [1].

Агрегована технологічна схема виробництва цукру наведена на рис. 4.4 і складається з наступних основних блоків.

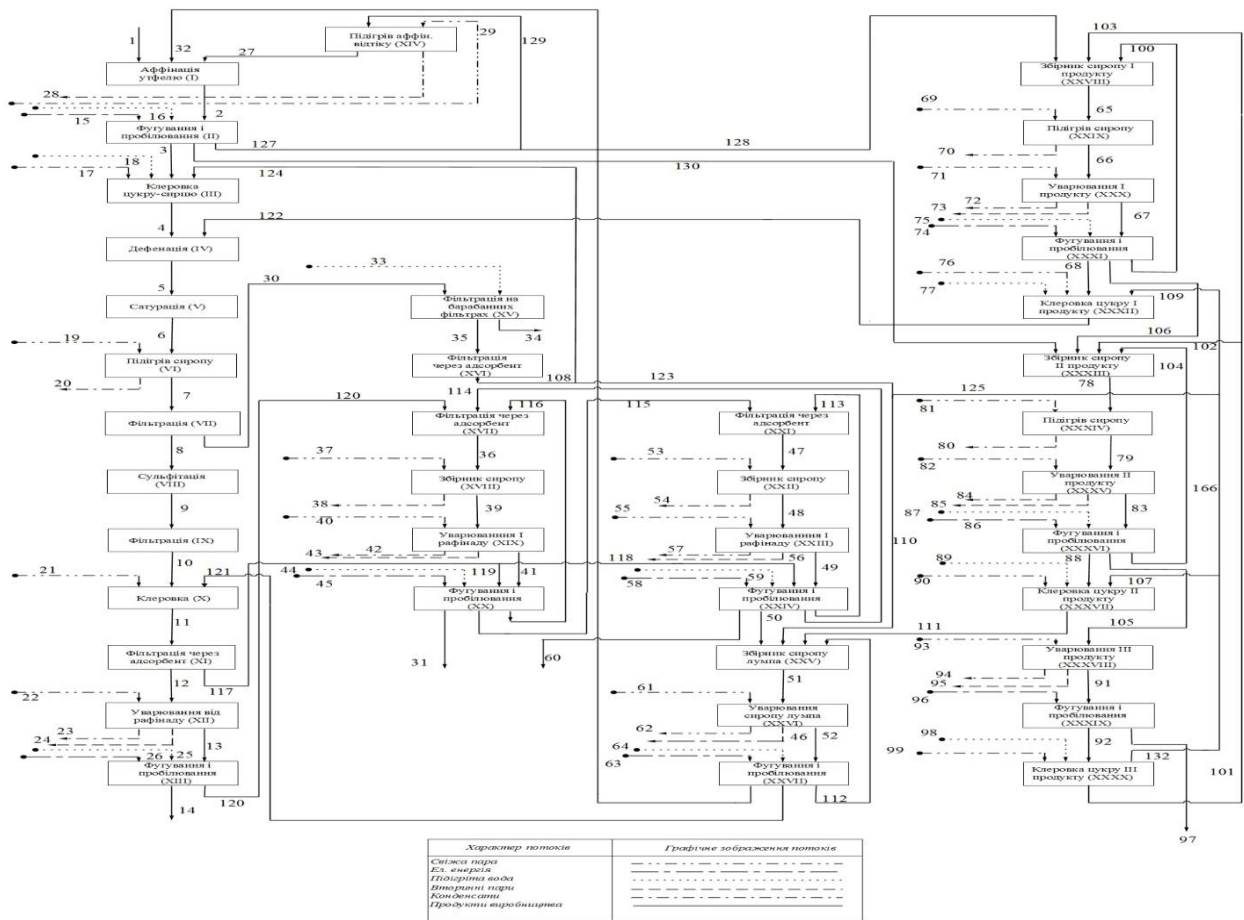


Рис. 4.4. Агрегована технологічна схема виробництва цукру

Джерело: узагальнено авторами

Блок I. Афінація утфелю. Афінація є ефективним засобом підвищення якості цукру-сирцю, що афінується. Поліпшення якості цього цукру досягається шляхом заміни плівки маточного розчину на поверхні цукру, що афінується, на меншу її кількість та більш високої якості.

Процес афінації складається з двох ступенів: приготування афінаційного утфелю і центрифугування афінаційного утфелю.

Афінації можна піддавати будь-який цукор: цукор-сирець, жовті цукри і цукор утфелю першого продукту.

Блок II. Фугування і пробілювання. Застосовується спосіб двоступеневого промивання (пробілювання) цукру в центрифугі – спочатку цукровмісним розчином, а потім водою. Даний спосіб в залежності від умов його проведення дозволяє не тільки зменшити кількість води на пробілювання і зменшити за рахунок цього розчинення цукру, але і поліпшити його якість. Пробілювання цукру в центрифугі можна проводити і цукровмісним розчином, кольоровість якого нижче кольоровості маточного розчину, що міститься на поверхні кристалів цукру, наприклад, сиропом.

Блок III. Клеровка цукру-сирцю. Клеровка цукру-сирцю – розчинення цукру-сирцю промием до певного значення СВ клеровки з підтримкою необхідної температури.

Блок IV. Дефекація. Дефекація – досить повне розкладання редуруючих речовин і амідів в клеровці, в результаті чого поліпшується термостійкість клеровки на наступних етапах виробництва, а також поліпшується швидкість осадження і фільтрування зважених речовин в клеровці. Дефекація має на меті очищення дифузійного соку за допомогою коагуляції вапном білків і барвників і осадження ряду аніонів, що дають нерозчинні солі з іоном кальцію вапна (аніони щавлевої, фосфорної та інших кислот); крім того, на дефекації йде низька реакцій розкладання нецукрів.

Блок V. Сатурація. Дефековану клеровку піддають двоступінчастій сатурації: на першій ступені її обробляють сатураційним газом до рН 10 ... 10,5 (лужність за фенолфталеїном 0,06 – 0,09 % СаО), на другий ступені – до рН 9 ... 9,2 (лужність за фенолфталеїном 0,03 – 0,04 % СаО). Перша сатурація – осадження у вигляді карбонату кальцію надлишку вапна, що додана під час дефекації за допомогою подачі в апарат сатураційного газу. Друга сатурація – зниження солей кальцію в клеровці, додаткове очищення від нецукрів і термостійкість клеровки.

Блок VI. Підігрів сиропу. Сік, що відсатурований, нагрівають до 90 °С, щоб поліпшити фільтрацію.

Блок VII. Фільтрація. Мета фільтрування – видалення максимально можливої кількості зважених часток з соку. Технологічною схемою виробництва передбачається фільтрування соку I сатурації (основне і контрольне), соку II сатурації, сиропу з клеровкою.

Фільтрування соку I сатурації для підвищення продуктивності вакуум-фільтрів проводиться в дві стадії: спочатку сік в відстійниках і чи фільтрах-згущувачах розділяється на декантат (прояснена частина соку) і згущену суспензію (рідке середовище зі зваженими в ній твердими частинками). Потім згущену суспензію направляють у вакуум-фільтри. Фільтрат з вакуум-фільтрів і декантат з відстійників змішують і ще раз пропускають через контрольні фільтри.

Блок VIII. Сульфитація. Отриманий сік обробляють газом SO<sub>2</sub> (сульфитація) для додаткового знебарвлення його і ще раз фільтрують.

Прочищений сік світло-жовтого кольору. У ньому міститься близько 15 % сухих речовин і близько 14 % цукру.

Блок IX. Фільтрація. Після операції блоку VIII сироп піддають додатковій фільтрації для додаткового очищення.

Блок X. Клеровка. Операція передбачає додаткове очищення сиропу свіжою парою.

Блок XI. Фільтрація через адсорбент. Проводиться додаткове очищення від колоїдних домішок.

Блок XII. Уварювання від рафінаду. Застосовується з метою видалення крупних кристалів цукру. Дана процедура проводиться в вакуумних ТОА.

Блок XIII. Фугування і пробілювання. Проводиться з метою отримання товарного продукту – рафінованого піску.

Блок XIV. Підігрів афінованого відтіку. Підігрів відтіку до 70 °С для подальшої подачі в блок I.

Блок XV. Фільтрація на барабанних фільтрах. Мета процесу – очищення суспензії після блоку VII для подальшого технологічного використання.

Блок XVI. Фільтрація через адсорбент. Аналогічно блоку XI. Відмінність полягає у використанні іншого фільтруючого матеріалу.

Блок XVII. Фільтрація через адсорбент. Аналогічно блоку XVI. Фільтрації піддається відтік після блоку XIII, другий відтік після уварювання I продукту, третій відтік після уварювання III продукту.

Блок XVIII. Збірник сиропу. Здійснюється збір сиропу після фільтрації і відповідна обробка технологічною парою з метою очищення.

Блок XIX. Уварювання I рафінаду. Процес проводиться в першому корпусі випарної станції з метою отримання I рафінаду (перше нормоване значення сухих речовин згідно технологічного регламенту).

Блок XX. Фугування і пробілювання. Проводиться проміжне очищення продукту перед другим ступенем уварювання. Перший відтік подається в блок XXI, рафкашка виводиться з технологічного циклу для подальшої переробки, другий відтік подається в блок XVII.

Блок XXI. Фільтрація через адсорбент. Аналогічно блоку XI. Фільтрується перший відтік після блоку XX і другий відтік після блоку XXIV.

Блок XXII. Збірник сиропу. Здійснюється збір сиропу після фільтрації і відповідна обробка технологічною парою з метою очищення.

Блок XXIII. Уварювання II рафінаду. Процес проводиться в другому корпусі випарної станції з метою отримання II рафінаду (друге нормоване значення сухих речовин згідно технологічного регламенту).

Блок XXIV. Фугування і пробілювання. Проводиться проміжне очищення продукту перед третім ступенем уварювання.

Блок XXV. Збірник сиропу лумпа. Здійснюється збір технологічних потоків різних параметрів і чистоти.

Блок XXVI. Уварювання сиропу лумпа. Проводиться з метою отримання сиропу усередненої консистенції і чистоти.

Блок XXVII. Фугування і пробілювання. Проводиться фінальне очищення продукту перед уварюванням.

Блок XXVIII. Збірник сиропу першого продукту. Здійснюється збір потоків різних видів для подальшого направлення до випарної станції.

Блок XXIX. Підігрів сиропу. Попередній нагрів сиропу до температури згідно технологічного регламенту.

Блок XXX. Уварювання першого продукту. Процес проводиться в першому корпусі випарної станції з метою отримання I продукту (перше нормоване значення сухих речовин згідно технологічного регламенту).

Блок XXXI. Фугування і пробілювання. Проводиться очищення продукту перед подальшим уварюванням.

Блок XXXII. Клеровка цукру першого продукту. Розведення цукру першого продукту.

Блок XXXIII. Збірник сиропу другого продукту. Здійснюється збір потоків різних видів для подальшого направлення до наступного корпусу випарної станції.

Блок XXXIV. Підігрів сиропу. Попередній нагрів сиропу до температури згідно технологічного регламенту.

Блок XXXV. Уварювання другого продукту. Процес проводиться в другому корпусі випарної станції з метою отримання II продукту (друге нормоване значення сухих речовин згідно технологічного регламенту).

Блок XXXVI. Фугування і пробілювання. Проводиться очищення продукції до та перед подальшим уварюванням.

Блок XXXVII. Клеровкою цукру другого продукту. Розведення цукру другого продукту.

Блок XXXVIII. Уварювання третього продукту. Процес проводиться в третьому корпусі випарної станції з метою отримання III продукту (третє нормоване значення сухих речовин згідно технологічного регламенту).

Блок XXXIX. Фугування і пробілювання. Проводиться очищення продукту перед розведенням в блоці XXXX.

Блок XXXX. Клеровка цукру третього продукту. Розведення цукру третього продукту.

Описана вище схема (більш докладний опис кожного з блоків можна знайти в [3]) реалізується наступної послідовністю технологічних операцій.

Тростинний цукор-сирець, що надходить зі складу, зважують на автоматичних вагах і, після відбору середніх зразків для визначення якості, подають в апарат клеровки для розчинення в промивній воді до щільності сиропу (не більше 60 % сухих речовин). Отриману клеровку змішують з клеровкою першого відтоку утфеля I і цукру III кристалізації і подають на 8 – 10-хвилинну дефекацію при Ph 11,5 – 11,6 (лужність за фенолфталеїном 1,8 – 2,0 % CaO). Витрата активного вапна на дефекацію в залежності від якості цукру-сирцю складає 3,5 – 4,5 % CaO до маси цукру-сирцю.

Дефековану клеровку піддають двоступеневій сатурації: на першому ступені її обробляють сатураційного газом до рН 10 – 10,5 (лужність за фенолфталеїном 0,06 – 0,09 % CaO), на другому ступені – до рН 9 – 9,2 (лужність за фенолфталеїном 0,03 – 0,04 % CaO).

Перед другим ступенем сатурації, щоб уникнути труднощів при регулюванні кінцевої лужності, до клеровкою додають вапняне молоко (0,4 – 0,5 % CaO до маси цукру-сирцю).

На виході з другого сатуратора підтримують максимально можливу лужність клеровки, верхня межа якої обмежена погіршенням фільтраційних властивостей сатураційного осаду.

Висока лужність клеровки на обох ступенях сатурації і 5 ... 7-кратна рециркуляція її в сатураторах по зовнішньому контуру сприяють підвищенню адсорбційної активності карбонату кальцію і утилізації діоксиду вуглецю з сатураційного газу. Відсутність фільтрування між першою і другою ступенями сатурації не знижує результатів очищення клеровки, тому що пептизація нецукрів, адсорбованих карбонатом кальцію, на другому ступені незначна.

Відсатуровану клеровку нагрівають до 85 °С, фільтрують в дискових фільтрах, потім сульфатують разом з клеровкою цукру II кристалізації до рН 7,2 ... 7,5, знову нагрівають до 80 °С, фільтрують в дискових фільтрах через фільтроперліт і направляють на уварювання утфеля I.

Для стерилізації тракту подачі клеровки не рідше одного разу в зміну в апарат клеровки вводять 8 ... 10 кг формаліну.

Фільтраційний осад промивається (позбавляється цукру) в три ступені: на першій ступені – в дискових фільтрах перед сульфатацією водами промивання, з другої і третьої ступенів промивання до змісту у воді промивання 25 ... 30 % сухих речовин, на другому ступені – в вакуум-фільтрах, куди подається фільтраційний осад з дискових фільтрів з першого ступеня, барометричною водою, нагрітою до 85 °С, і, нарешті, на третьому ступені – в дискових фільтрах, куди осад змивається з вакуум-фільтрів для контрольного промивання, аміачною водою з температурою 90 °С.



Перед використанням промивної води другої і третьої ступенів позбавлення цукру розчин обробляють 40 % формаліном (1 кг формаліну на 100 т цукру-сирцю а, вапняним молоком до рН 9,5 ... 10, потім нагрівають до 90°C і фільтрують, або разом з фільтраційним осадом, змитим з фільтрів сульфатованої клеровки, і розливами обробляють вапняним молоком до лужності 0,2 ... 0,3 % СаО, сатується до рН = 9, нагрівають до 90 °С, фільтрують і направляють в збірник, яким може служити відстійник соку І сатурації.

Утфель І уварюють з сульфатованої клеровки і свого другого відтіку до 92 % сухих речовин температурі 70 ... 75 °С. У приймальні утфелемішалці його розгойдують своїм же першим відтіком, подаючи частину відтіку в порожню утфелемішалку перед спуском утфеля, а частина – після повного вивантаження та з вакуум-апарата. Утфель І центрифугують з відбором двох відтіків: доброякісність першого – не вище 83 % і другого – не вище 91 %.

Перший відтік утфеля І містить деяку кількість інвертного цукру та інших нецукрів. Його повернення на уварювання утфелю І недоцільне, тому що в результаті багаторазової рециркуляції в ньому буде накопичуватися інвертний цукор, що погіршить якість цукру-піску. Тому, щоб зруйнувати інвертний цукор, що утворився, і видалити частину нецукрів адсорбцією на карбонат кальцію, 50 ... 80 % першого відтоку утфеля І змішують з клеровкою цукру ІІ кристалізації і повертають на вапняно-вуглекислотне очищення на початок технологічної схеми.

Перший відтік утфеля І, що залишився, використовують при уварюванні утфеля ІІ.

Утфель ІІ уварюють до 92,5 % сухих речовин при температурі 70 ... 75°C і центрифугують з відбором одного відтіка доброякісністю не вище 73 %. Допускається пробілювання цукру невеликою кількістю води.

Отриманий при пробілюванні відтік змішується з першим відтіком. Утфель ІІ розгойдується в приймальній утфелемішалці своїм же відтіком. Цукор ІІ кристалізації розчиняється в промивній воді першої ступені промивання фільтраційного осаду, клеровка подається на сульфитацію.

Утфель ІІІ уварюють до 94 % сухих речовин з відтіка утфеля ІІ при температурі 70 ... 72 °С. Перед спуском з вакуум-апарата його розгойдують розбавленою меласою і потім додатково кристалізують при охолодженні протягом 60 ... 72 год. Охолоджуючу воду подають в систему охолодження утфелем – шалок – кристалізаторів протитечею через 6 ... 8 год. після завантаження утфелю. Доброякісність готового утфелю повинна бути не вище 73 %. В останній утфелемішалці – кристалізаторі утфель ІІІ підігрівають на 7 ... 10 °С і центрифугують з відбором одного відтіка (меляси).

Цукор ІІІ кристалізації розчиняють в промивних водах другої і третьої ступенів промивання фільтраційного осаду і повертають на дефекацію. Мелясу доброякісністю 50 % і нижче виводять в сховище, доброякісністю 51 ... 54 % використовують на розкачку утфелю в кристалізаційній установці, мелясу доброякісністю вище 54 % повертають на уварювання утфелю ІІІ.

При переробці тростинного цукру-сирцю за схемою з поверненням більшої частини першого відтоку утфеля І і цукру останньої кристалізації на дефекацію і сатурацію вихід цукру-піску складає 95 ... 96 %, зміст цукру в мелясі – 1,2 ... 1,3 %, витрата вапнякового каменю – 5 ... 7 % і умовного палива – 26 ... 28 % до маси цукру-сирцю.

Застосування підходу, викладеного в [1], реалізованого у вигляді процедур вбудованої мови високого рівня математичного пакета Maple 2017, дозволило отримати термодинамічні характеристики як окремих блоків схеми, так і агрегованих за технологічною ознакою груп елементів (процесів).

Виробничі процеси можна згрупувати за технологічними операціями, які циклічно повторюються при виконанні технологічного регламенту виробництва цукру в наступні характерні групи, а саме: клеровка продуктів, підігрів сиропу, варка утфелів, збір сиропів, фільтрація продуктів, хіміко-технологічна обробка продуктів, фуговка і пробілювання.

Результати розрахунків наведені в табл. 4.5 – 4.12. Послідовно проаналізуємо отримані результати.

Таблиця 4.5

**Клеровка продуктів**

Найменування продуктів	Ексергія на вході $E^{inx}$ , кВт	Ексергія на виході $E^{out}$ , кВт	Втрати ексергії П, кВт	с.т.д., v
Афінаційний цукор-сирець	373	186	187	0,5
Сироп після донасичення цукром лумпа	382	317	65	0,83
Цукор 1 продукту	75	40	35	0,53
Цукор 2 продукту	136	84	52	0,64
Цукор 3 продукту	56	38	18	0,68
Всього	1022	665	357	0,65

Джерело: розрахунки авторів

Як впливає з табл. 4.5, найбільші втрати ексергії (187 кВт) припадають на процес отримання афінаційного цукру-сирцю при мінімальному значенні ступеня термодинамічної досконалості 0,5.

Це зумовлено дисипативними втратами процесів центрифугування, механічного поділу та подрібнення, дифузії, при яких витрачається електроенергія на приводи обладнання.

*Таблиця 4.6*

**Підігрів сиропів**

Найменування продуктів	Ексергія на вході $E^{inx}$ , кВт	Ексергія на виході $E^{out}$ , кВт	Втрати ексергії $\Pi$ , кВт	с.т.д., $\nu$
Другий афінаційний відтік	54	32	22	0,59
Сироп афінаційного цукру	405	312	93	0,77
Сироп I рафінаду в збірнику	170	154	16	0,9
Сироп II рафінаду	113	102	11	0,9
Сироп 1 продукту	120	90	30	0,75
Сироп 2 продукту	172	141	31	0,82
Всього	1034	831	203	0,8

*Джерело: розрахунки авторів*

Як впливає з табл. 4.6, найбільші втрати ексергії (93 кВт) припадають на процес підігріву сиропу афінаційного цукру при невисокому значенні ступеня термодинамічної досконалості 0,77.

Це зумовлено необоротністю процесів теплообміну при досить високих температурних напорах, а також дисипативними втратами процесів перекачування даного продукту на наступні технологічні етапи.

*Таблиця 4.7*

**Процеси варіння утфелю**

Найменування продуктів	Ексергія на вході $E^{inx}$ , кВт	Ексергія на виході $E^{out}$ , кВт	Втрати ексергії $\Pi$ , кВт	с.т.д., $\nu$
Утфель 0 рафінаду	3094	1643	1451	0,55
Утфель I рафінаду	1511	799	712	0,53
Утфель II рафінаду	746	410	336	0,55
Утфель лумпа	844	476	368	0,56
Утфель 1 продукту	684	369	315	0,54
Утфель 2 продукту	1165	635	530	0,54
Утфель 3 продукту	192	116	76	0,60
Всього	8236	4448	3788	0,54

*Джерело: розрахунки авторів*

Як впливає з табл. 4.7, найбільші втрати ексергії (1451 кВт) припадають на процес варіння утфелю первинного рафінаду при невисокому значенні ступеня термодинамічної досконалості 0,55.

Це зумовлено значними тепловими потоками і необоротністю процесів теплообміну при досить високих температурних напорах при отриманні утфельної маси шляхом видалення води з концентрованих цукровмісних розчинів до пересичення випарюванням. Крім того, свій внесок вносять дисипативні втрати при введенні затравочного матеріалу в пересичений розчин і нарощуванні кристалів сахарози.

*Таблиця 4.8*

**Збір сиропів**

Найменування продуктів	Ексергія на вході $E^{inx}$ , кВт	Ексергія на виході $E^{out}$ , кВт	Втрати ексергії $\Pi$ , кВт	с.т.д., $\nu$
Сироп лумпа	119	110	9	0,93
Сироп 1 продукту	65	59	6	0,91
Сироп 2 продукту	125	115	10	0,92
Всього	309	284	25	0,92

*Джерело: розрахунки авторів*

Як впливає з табл. 4.8, найбільші втрати ексергії (10 кВт) припадають на процес збору сиропу 2 продукту при досить високому значенні ступеня термодинамічної досконалості 0,92.

Це зумовлено дисипативними втратами транспортування даного продукту з декількох місць з подальшим їх змішуванням і прямими втратами ексергії теплоти в навколишнє середовище в цьому обладнанні через недосконалість теплової ізоляції.

Таблиця 4.9

**Фільтрація**

Найменування продуктів	Ексергія на вході $E^{inx}$ , кВт	Ексергія на виході $E^{out}$ , кВт	Втрати ексергії $\Pi$ , кВт	с.т.д., $\nu$
Сироп до сульфатації	290	260	30	0,89
Сироп після сульфатації	246	230	16	0,93
Сироп донасичений	317	290	27	0,91
Сироп I рафінаду	155	138	17	0,89
Сироп II рафінаду	93	87	6	0,91
Суспензія	13	8	5	0,62
Промивна вода	8	7	1	0,88
Всього	1122	1020	102	0,91

Джерело: розрахунки авторів

Як випливає з табл. 4.9, найбільші втрати ексергії (30 кВт) припадають на процес фільтрування сиропу до сульфатації при досить високому значенні ступеня термодинамічної досконалості 0,89.

Це зумовлено дисипативними процесами при фільтрації і якістю технологічного фільтраційного матеріалу.

Таблиця 4.10

**Обробка продуктів**

Найменування продуктів	Ексергія на вході $E^{inx}$ , кВт	Ексергія на виході $E^{out}$ , кВт	Втрати ексергії $\Pi$ , кВт	с.т.д., $\nu$
Афінація цукру-сирцю	207	176	31	0,85
Дефекація сиропу	226	206	20	0,91
Сатурація сиропу	206	187	19	0,91
Сульфатація сиропу	260	246	14	0,95
Всього	899	815	84	0,91

Джерело: розрахунки авторів

Як випливає з табл. 4.10, найбільші втрати ексергії (31 кВт) припадають на процес афінації цукру-сирцю при мінімальному значенні ступеня термодинамічної досконалості 0,85.

Це зумовлено необоротністю фізико-хімічних процесів очищення цукру-сирцю.

Таблиця 4.11

**Фугування і пробілювання**

Найменування продуктів	Ексергія на вході $E^{inx}$ , кВт	Ексергія на виході $E^{out}$ , кВт	Втрати ексергії $\Pi$ , кВт	с.т.д., $\nu$
Афінаційний утфель	296	188	108	0,64
Утфель 0 рафінаду	401	215	186	0,54
Утфель I рафінаду	197	140	57	0,72
Утфель II рафінаду	130	74	56	0,57
Утфель лумпа	147	90	57	0,6
Утфель 1 продукту	127	67	60	0,53
Утфель 2 продукту	278	133	145	0,48
Утфель 3 продукту	93	42	51	0,45
Всього	1669	949	720	0,57

Джерело: розрахунки авторів

Як випливає з табл. 4.11, найбільші втрати ексергії (186 кВт) припадають на процес утворення утфельної маси рафінаду в початковому стані при невисокому значенні ступеня термодинамічної досконалості 0,54.

Це зумовлено додатковими витратами теплоти на підігрів і уварювання первинної утфельної маси і необоротністю процесів теплообміну при досить високих температурних напорах. Крім того, свій внесок вносять дисипативні втрати процесів перекачування даного продукту на наступні технологічні етапи.

Як випливає з розгляду результатів, що наведені в табл. 4.12, найбільші ексергетичні втрати спостерігаються в процесі варіння утфелю (більше 70 % ексергетичних втрат всього процесу виробництва цукру).

Крім того, варіння утфелю характеризується також найменшим ступенем термодинамічної досконалості з усіх розглянутих процесів (0,54), тому саме цим процесам традиційно і приділяється найбільша увага [2; 4; 6].

**Термодинамічні характеристики технологічної схеми процесу виробництва цукру**

Групи виробничих процесів	Ексергія на вході $E^{in}$ , кВт	Ексергія на виході $E^{out}$ , кВт	Втрати ексергії $\Pi$ , кВт	с.т.д., $\nu$
Клеровка продуктів	1022	665	357	0,65
Підігрів сиропів	1034	831	203	0,80
Варка утфелей	8236	4448	3788	0,54
Збори сиропів	309	284	25	0,92
Фільтрація сиропів	1122	1020	102	0,91
Обробка продуктів	899	815	84	0,91
Фугування і пробілювання цукру	1669	949	720	0,57
Всього	14291	9012	5279	0,63

*Джерело: розрахунки авторів*

Отримані результати є основою для подальшої термoeкономічної оцінки і оптимізації технологічної системи виробництва цукру.

**4.3. Енергозберігаючі технології та технічні рішення при виробництві капсульовано-гранульованих мінеральних добрив**

© Бунько В. Я.

*к.т.н., доцент, доцент кафедри енергетики і автоматики відокремленого підрозділу  
Національного університету біоресурсів і природокористування України  
“Бережанський агротехнічний інститут”, м. Бережани, Україна*

© Мальований М. С.

*д.т.н., професор, завідувач кафедри екології та збалансованого природокористування  
Національного університету “Львівська політехніка”, м. Львів, Україна*

© Нагурський О. А.

*д.т.н., професор, завідувач кафедри цивільної безпеки  
Національного університету “Львівська політехніка”, м. Львів, Україна*

Капсулювання гранульованих мінеральних добрив, як метод модифікації експлуатаційних властивостей, набув широкого застосування, зокрема у сільськогосподарському виробництві та хімічній галузі. Він дає змогу змінювати фізичні та хімічні властивості речовин, дозволяючи оптимізувати їх експлуатаційні параметри. Поширеним методом капсулювання твердих дисперсних речовин є нанесення покриття у стані псевдозрідження. Капсулювання гранульованих мінеральних добрив проводиться з метою ізолювання поверхні частинок від негативної дії факторів довкілля та сповільнення швидкості їх розчинення у середовищі споживання. Така форма дає змогу подовжити дію добрив на значний час, зменшивши при цьому їх кількість та періодичність внесення, а також втрати елементів живлення добрив у навколишнє середовище. Однак, через високу вартість капсульованих добрив порівняно із традиційним не знайшли широкого застосування у сільськогосподарському виробництві. Тому розроблення та запровадження нових технологій капсульованих мінеральних добрив, які б передбачили використання дешевих та ефективних матеріалів для створення капсули, дасть змогу отримати необхідну кількість економічно доцільних та екологічно безпечних добрив для агропромислового комплексу та відповідно впровадити енергозберігаючі технології при виробництві такого типу добрив для агропромислового виробництва.

Нанесення плівкового покриття на поверхню дисперсного матеріалу є кінцевою стадією отримання речовин із заданими функціональними властивостями. Призначенням капсулювання є модифікація певних параметрів тих чи інших речовин. Визначальною складовою частиною кінцевого продукту є оболонка на поверхні дисперсного матеріалу. Якість покриття визначається фізико-хімічними властивостями плівкоутворюючої композиції та технологічними параметрами процесу капсулювання. Оболонка формується в умовах тепломасообміну між дисперсним матеріалом, плівкоутворювальною суспензією та зовнішнім середовищем, в якому відбувається нанесення цієї суспензії на частинки із створенням плівки в процесі її обезводнення. Викладені експериментальні та теоретичні матеріали дозволяють розробити алгоритм розрахунку процесу, який в подальшому може використовуватись для розрахунку реальних процесів [1, с. 9; 8, с. 118].

Експериментальні дослідження кінетики нарощування плівки із композиції на основі меляси та палигорськіту проводили на модельних частинках. Для цього використовували скляні кульки діаметром 1 і 2 мм. Коефіцієнт співвідношення розмірів у цьому випадку дорівнює  $n=2$ . Для перевірки адекватності розробленої моделі (рівняння (4.1)) реальному процесу проводили дослідження кінетики нарощування оболонки на частинки радіусом 1, 2 та 3 мм.

$$\delta = \frac{k_p P C}{F \rho_n} \tau \quad (4.1)$$

де  $k_p$  – коефіцієнт пропорційності, який враховує винос плівкоутворювача із робочої зони апарата та налипання на стінки корпусу;

$P$  – витрата плівкоутворюючої суспензії, м<sup>3</sup>/с;

$C$  – концентрація плівкоутворюючої суспензії, кг/м<sup>3</sup>;

$\tau$  – час нанесення покриття, с;

$F$  – площа поверхні частинки у процесі капсулювання (м<sup>2</sup>);

$\rho_n$  – густина плівки, кг/м<sup>3</sup>.

На скляні кульки покриття наносили використовуючи композицію палигорськіт та меляса бурякова – зі співвідношенням 5 : 4. Процес здійснювали за витрати псевдозріджуючого повітря 0,05 м<sup>3</sup>/с, температури 75°C та інтенсивності зрошення плівкоутворювальною суспензією 20÷25 мл/хв. Тривалість капсулювання складала 5 год. [1, с. 10].

У процесі нанесення оболонки через кожну годину тривалості процесу відбирали 20 частинок. Частинки зважували на аналітичній вазі, поміщали в 4 % водний розчин поверхнево-активних речовин (ПАР) та витримували на протязі 30 хв. для повного розчинення плівки. Потім частинки висушували в сушильній шафі за температури 80°C і знову зважували. За різницею результатів зважування проби визначали приріст маси покриття. Результати теоретичних розрахунків за формулою (4.1) і експериментальних досліджень кінетики нарощування оболонки в залежності від інтенсивності подачі плівкоутворюючої суспензії та розмірів частинок наведені у графічному виді, відповідно, на рис. 4.5. та рис. 4.6.

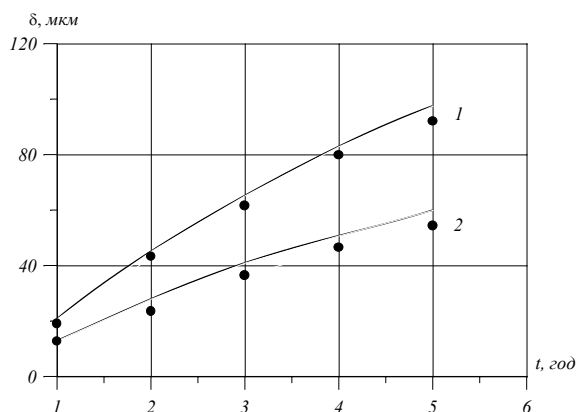


Рис. 4.5. Порівняння теоретичних (лінії) та експериментальних (точки) значень кінетики нарощування оболонки за різної інтенсивності подачі плівкоутворювальної суспензії, мл/хв.: 1 – 50, 2 – 20  
Джерело: розрахунки авторів

У процесі дослідження залежності товщини покриття плівкою на основі палигорськіту та меляси поверхні частинок від їх розмірів завантажували в апарат по 1000 шт. частинок окремо.

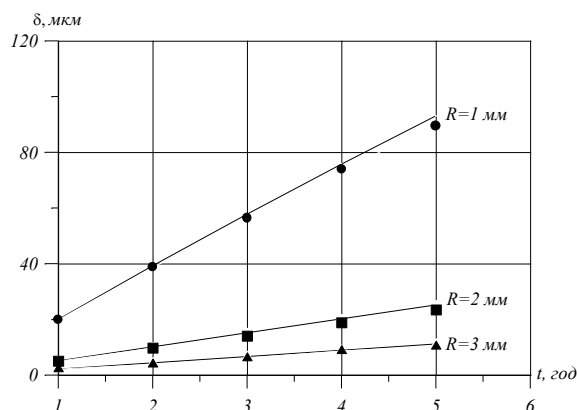


Рис. 4.6. Порівняння теоретичних (лінії) та експериментальних (точки) значень кінетики нарощування оболонки на частинки різного радіусу

Джерело: розрахунки авторів

Отже, площа капсулювання відрізнялася і пропорційно цьому ми отримували різну товщину плівки. Деяке незначне відхилення експериментальних результатів від теоретичних можна пояснити частковим виносом краплинок плівкоутворюючої суспензії з апарату та осіданням його на стінках.

Згідно отриманих даних товщина оболонки через 5 год. процесу складала для частинок радіусом 1 мм – 89 мкм, 2 мм – 24 мкм, 3 мм – 11 мкм (рис. 4.6). Для монодисперсного шару отримали такі співвідношення:

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{1}{2} = 0,5; \quad \frac{F_1}{F_2} = \frac{1}{4} = 0,25; \quad \frac{\delta_1}{\delta_2} = \frac{89}{24} = 3,7;$$

$$\frac{R_2}{R_3} = \frac{2}{3} = 0,66; \quad \frac{F_1}{F_2} = \frac{4}{9} = 0,44; \quad \frac{\delta_1}{\delta_2} = \frac{24}{11} = 2,18.$$

Відповідно до отриманих результатів можна стверджувати, що відношення товщини оболонки є обернено пропорційне відношенню площі поверхонь частинок в першій степені, а відношенню радіусів частинок обернено пропорційне відношенню площі поверхонь частинок в квадраті.

Для перевірки закономірностей капсулювання полідисперсних сумішей проводили дослідження шару, який складався з частинок розмірів 1 та 2 мм в кількості 500 шт кожної фракції. В процесі капсулювання через кожну годину відбирали по 20 частинок різних розмірів і визначали масу нанесеної на поверхню плівки. Результати досліджень представлені у графічному виді на рис. 4.7.

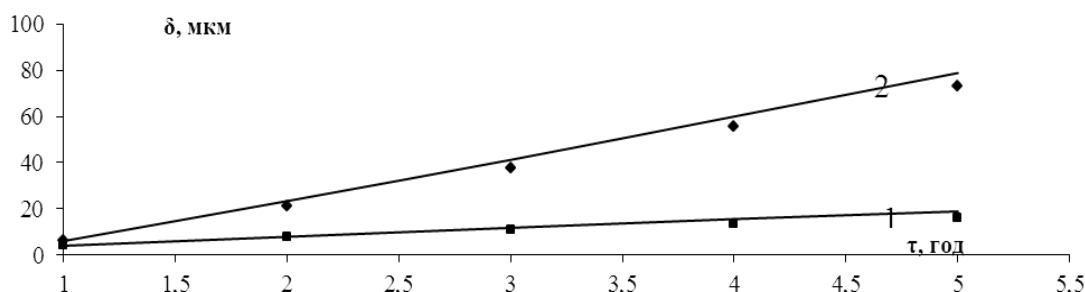


Рис. 4.7. Порівняння експериментальних (точки) та теоретичних (лінії) кінетичних кривих процесу нарощування оболонки із суміші палигорськіт – м'яса на частинках різного радіусу, мм: 1 – 2, 2 – 1  
*Джерело: розрахунки авторів*

Розрахунок значення середньоквадратичного відхилення показав, що ця величина коливається в межах 7÷11 %.

Як видно з результатів проведених експериментальних досліджень, розроблена модель може бути використана для теоретичного розрахунку процесу капсулювання полідисперсного шару в апараті псевдозрідженого шару [1, с. 9].

Товщина нанесеного на поверхню частинок покриття залежить від часу здійснення процесу, який в свою чергу визначається інтенсивністю подачі в апарат плівкоутворюючої суспензії. Інтенсивність зрошення обмежується швидкістю випаровування рідкого дисперсійного середовища (води), з поверхні твердих частинок.

Робоча камера апаратів для капсулювання твердих частинок умовно поділяються на зону зрошення та зону сушіння. Шар киплячих твердих речовин перебуває в стані, близькому до ідеального перемішування. Рух частинок є хаотичним і нагадує тепловий рух молекул в газі. Час перебування окремої частинки в тій чи іншій зоні носить ймовірнісний характер. Однак можна припустити, що час перебування частинок в зоні сушіння та зоні наплення прямо пропорційний відношенню об'ємів відповідних зон.

На величину зон безпосередній вплив справляють гідродинамічні умови процесу, фізико-хімічні властивості рідкого дисперсійного середовища (води), конструкція та розташування розпилювачів в апараті, характеристики шару та інтенсивність зрошення, тому визначити об'єм зони наплення чи сушіння геометричним вимірюванням важко практично. Реально визначити інтенсивність проведення процесу покриття можна відштовхуючись від часу, необхідного для висушування рідкого дисперсійного середовища (води) на поверхні частинок.

Для нормального ведення процесу час нарощування оболонки повинен бути не меншим часу висушування  $\tau_c \leq \tau_n$ . За рівності цих величин інтенсивність зрошення набуває максимального значення.

Розрахувати необхідний час висушування рідкого дисперсійного середовища (води) за тієї ж інтенсивності зрошення можна з рівняння визначення кількості рідкого дисперсійного середовища (води), яка випарувалась з поверхні частинок [2, с. 158 – 160]:

$$\tau_c = \frac{1 + \frac{\beta F R T_k}{Q}}{\beta F \left( P_s - \frac{P_n T_k}{T_n} \right)} W, \quad (4.2)$$

де  $\beta$  – коефіцієнт масовіддачі, м/с;

$W$  – кількість рідкого дисперсійного середовища (води), що випаровується із поверхні частинок кг;

$F$  – площа поверхні частинок, м;

$P_s$  – парціальний тиск насиченої пари рідкого дисперсійного середовища (води), Па;

$P_n$  – парціальний тиск пари рідкого дисперсійного середовища (води) на вході в робочу зону апарату, Па;

$R$  – універсальна газова стала, Дж/(кг×К);

$Q$  – витрата псевдозріджуючого повітря, м<sup>3</sup>/с;

$T_n$  – початкова температура повітря, К;

$T_k$  – температура повітря на виході з робочої зони апарату, К;

$\tau$  – час випаровування рідкого дисперсійного середовища (води) з поверхні частинок, с.

Необхідну кількість плівкоутворюючої суспензії визначає сумарна концентрація палигорськіту та меляси. Взаємозв'язок між кількістю суспензії, палигорськіту та рідкого дисперсійного середовища (води) визначається рівнянням:

$$P = C \cdot W. \quad (4.3)$$

З наведеної залежності, знаючи час (рівняння 4.2) випаровування рідкого дисперсійного середовища (води) з поверхні частинок, на яких формується оболонка, можна визначити критичну витрату плівкоутворюючої суспензії. Оскільки нанесення плівкових покриттів в екстремальних умовах недоцільне, оптимальний режим визначається вимогами до якості цільового капсульованого продукту.

За допомогою представлених математичних залежностей розраховані основні технологічні параметри капсулювання гранульованих мінеральних добрив (нітроамафоска) представлені в табл. 4.13.

Таблиця 4.13

#### Технологічні параметри капсулювання

Напір повітря, Па	535
Швидкість повітря, м/с	4,5
Витрата плівкоутворювача, 10 <sup>6</sup> м <sup>3</sup> /(с×кг)	0,5
Час капсулювання (хв.) для досягнення маси покриття 1 % (мас) від маси добрива	2,42
Маса матеріалу в апараті, кг	0,4
Температура повітря на вході в апарат, °С	75

*Джерело: розрахунки авторів*

Завершальним етапом даних досліджень є розроблення аспектів впровадження їх результатів. Для планування промислового впровадження необхідно в першу чергу розробити принципову технологічну схему промислової установки із виробництва добрив.

Процес виробництва капсульованого плівкою із суміші палигорськіту та меляси гранульованої нітроамафоски полягає у здійсненні технологічних стадій приготування капсулоутворюючої суспензії та нанесення її на частинки гранульованого добрива. Технологічна схема такого виробництва приведена на рис. 4.8.

Суспензія капсулоутворюючої композиції приготувалась у ємності 1, яка обладнана пристроєм для перемішування середовища. В ємність 1 дозатором 4 у визначених кількостях завантажувалась палигорськіт, дозатором 5 подавалась меляса, передбачена подача води. Після завантаження у ємність 1 палигорськіту, меляси та води композиція на протязі 10 годин гомогенізувалась водою для створення однорідної суспендованої маси, після чого направлялась у збірник 2, який також обладнаний перемішувачем. Далше за потреби композиція насосом 3 подавалась на дозатор 6, обладнаний перемішувачем. Ціллю перемішувачів пристроїв на лінії подачі композиції було забезпечення стійкості суспензії.

Процес капсулювання реалізувався в апараті киплячого шару 8 періодичної дії циліндричного типу. Пристрій для розпилювання капсулоутворюючої композиції встановлений в зоні капсулювання.

Гранули нітроамафоски потрапляють в зону капсулювання де зрошуючись суспензією, яка розпилюється пневматичною форсункою, направляються в зону сушіння.

За допомогою газодувки 13 частинки нітроамафоски, які потрапляють у апарат киплячого шару, приводяться у псевдо зріджений стан, нагріваючись одночасно до робочої температури процесу капсулювання. Після досягнення цієї температури з допомогою насоса-дозатора 7 в робочу камеру апарату киплячого шару із встановленою інтенсивністю подається капсуло утворююча композиція.

З допомогою пневматичної форсунки, до якої подається стиснуте повітря від компресора 11, плівкоутворююча композиція розпилюється в об'ємі зони капсулювання апарату. Повітря, яке потрапляє на форсунку для розпилення, очищається з допомогою фільтрів 10 та 12. Відпрацьована газова суміш після створення киплячого шару нітроамофоски та капсул, які генеруються в апараті, подається на очищення в систему очищення 14. Екологічність установки та попередження забруднення навколишнього середовища забрудненим повітрям, на всьому повітряно-газовому тракті установки газодувкою 13 створюється розрідження. Установка нанесення капсул на частинки нітроамофоски повинна бути оснащена автоматичною системою регулювання та контролю витрат композиції для нанесення капсули та її компонентів, нітроамофоски, а також псевдозріджуючого агенту, а також температури псевдозріджуючого агенту.

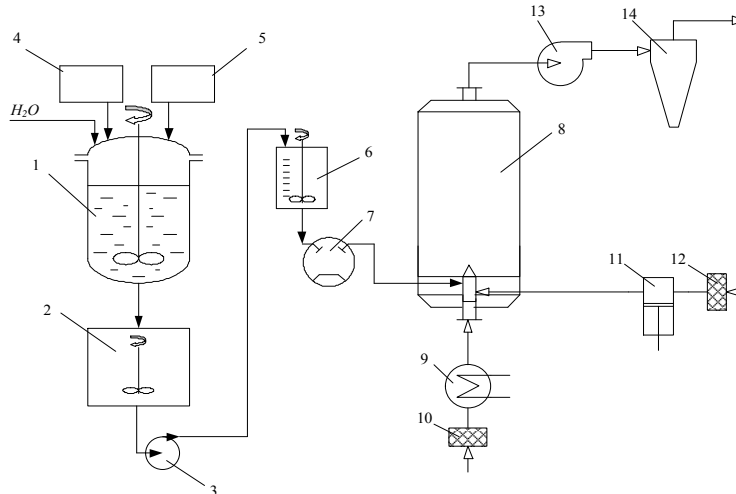


Рис. 4.8. Принципова технологічна схема капсулювання гранульованої нітроамофоски композицією на основі палигорського кіту та меляси:

1 – ємність для приготування капсулоутворюючої композиції; 2 – збірник, обладнаний перемішувачем; 3 – насос; 4 – дозатор палигорського кіту; 5 – дозатор меляси; 6 – дозатор капсулоутворюючої композиції; 7 – насос-дозатор; 8 – апарат киплячого шару; 9 – калорифер; 10, 12 – повітряні фільтри; 11 – компресор; 13 – газодувка; 14 – система очищення відпрацьованих газів.

*Джерело: узагальнено авторами*

Як зазначалося вище, швидкість подачі розчину в шар матеріалу визначає динаміку нарощування оболонки і не може перевищувати інтенсивність випаровування розчинника з поверхні частинки. В процесі практичної реалізації капсулювання в стані псевдозрідження витрата плівкоутворювача в шар матеріалу складає близько 80 % від максимально можливого значення [3, с. 115 – 117]. Нанесення покриття в режимах, близьких до максимального призводить до злипання частинок та різкого зниження якості оболонки. При роботі із матеріалом, здатним до злипання можна використовувати апарати, де рух частинок в робочій зоні є організований за рахунок секціонуючих перегородок [4, с. 58 – 62]. Недоліком таких апаратів є те, що в зоні біля розпилюючої форсунки шар матеріалу переходить в режим фонтанування, що збільшує механічні навантаження на частинки та негативно впливає на якість покриття.

У роботах [5, с. 302 – 308; 6, с. 125 – 129] описаний механізм та розрахункові залежності для визначення сил злипання між частинками в процесі капсулювання. Згідно із твердженнями автора, основними чинниками, які впливають на злипання частинок є інерційна сила частинки, кількість та фізичні властивості плівкоутворюючої рідини. Кількість рідини, яка потрапляє на поверхню твердої частинки залежить від часу її перебування в зоні напилена та інтенсивності подачі плівкоутворювача. Витрата плівкоутворювача розраховується за кінетичними показниками процесу випаровування розчинника і відноситься до всього шару матеріалу. Час перебування в зоні напилена може бути оцінено умовно через неможливість точно визначити її геометричні розміри. Ще одним важливим чинником, який впливає на процес капсулювання є концентрація диспергованої рідкої фази в об'ємі робочого простору апарату, яка набуває максимального значення безпосередньо біля розпилюючого пристрою. Все це обумовлює можливість злипання найдрібніших частинок полідисперсних сумішей.

Для запобігання утворенню агломератів в процесі капсулювання дисперсних матеріалів необхідним є більш рівномірно розподілити плівкоутворювач по поверхні частинок. Це досягається встановленням декількох розпилюючих пристроїв, які розташовуються на одному рівні, безпосередньо над газорозподільною решіткою (рис. 4.9, а) [5, с. 207 – 210]. Для створення умов максимальної інтенсивності зрошення шару матеріалу пропонується встановлення додаткових розпилювачів, які б розташовувалися вище основних (рис. 4.9, б).



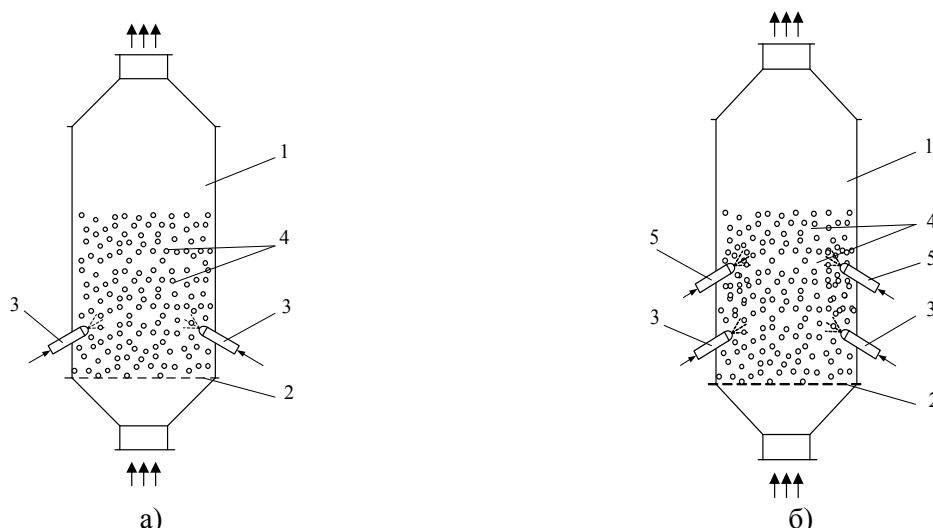


Рис. 4.9. Апарат псевдозрідженого стану для капсулювання дисперсних матеріалів в стані псевдозрідження: а) звичайного типу, б) з додатковими розпилювальними форсунками; 1 – корпус, 2 – газорозподільна решітка, 3 – розпилюючі форсунки, 4 – дисперсний матеріал, 5 – додаткові форсунки

Джерело: авторська розробка

Для визначення місця розташування додаткових форсунок досліджували інтенсивність тепломасообмінних процесів по висоті шару за температурними показниками з використанням 8-ми каналного інтелектуального перетворювача ПВІ-0298, який дозволяє одночасно фіксувати температуру термпар у восьми точках з виводом інформації на ПК. Границя допустимої основної зведеної похибки перетворювача  $\pm 0,25\%$ , час опитування всіх каналів не більше 3,5 с [7, с. 181 – 183]. Отримані значення зміни температури зріджувального повітря по висоті шару нітроамофоски, зрошеного рідиною наведені у графічному виді на рис. 4.10.

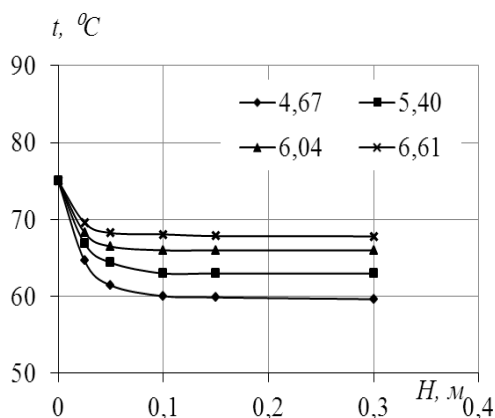


Рис. 4.10. Розподіл температури повітря по висоті шару нітроамофоски в процесі капсулювання в апараті ПШ за різної швидкості повітря, м/с

Джерело: розрахунки авторів

Під час капсулювання на поверхні частинок проходить теплообмін між зріджуючим повітрям та розчином плівкоутворювача. Підведена теплова енергія витрачається лише на випаровування рідкого дисперсійного середовища. Тому за зміною температури зріджуючого повітря можна робити висновок про перебіг масообміну між поверхнею частинок та зріджуючим повітрям. Аналіз отриманих даних показує, що найбільш інтенсивно процес теплообміну, а отже, і процес випаровування розчинника проходить на висоті, яка лежить в межах 15 – 30 % висоти шару в стані псевдозрідження, у залежності від швидкості повітря. На основі цього можна стверджувати про можливість встановлення додаткових форсунок на висоті 50 % висоти шару матеріалу, залишаючи 20 % запас для досушування частинок. Кількість плівкоутворювача, який можливо подати на додаткові форсунки є різниця між максимальною та дійсною витратою розчину в умовах капсулювання в апараті звичайного типу (рис. 4.9, а). Максимальну витрату плівкоутворювача  $G_{\max}$  (кг/с) визначаємо за кількістю розчинника, який може випаруватися з поверхні частинок згідно із рівнянням (4.2).

Експериментальним шляхом визначаємо дійсну витрату плівкоутворювача  $G_p$  в апараті киплячого шару періодичної дії, обладнаного двома розпилювальними форсунками одного рівня. За різницею  $G_{max}$  і  $G_p$  розраховуємо максимальну кількість плівкоутворювача  $G_{dmax}$ , яку можна подати на додаткові форсунки. І далі експериментальним шляхом визначаємо дійсну витрату плівкоутворювача  $G_d$  на додаткових форсунках, за якої відсутнє утворення агломератів.

Результати теоретичних розрахунків та експериментальних досліджень інтенсивності зрошення шару нітроамофоски 10 % водною дисперсією суміші меляса – палигорськіт у співвідношенні 5 : 4 під час капсулювання в апараті киплячого шару циліндричного типу, відповідно на 1 кг добрива, приведені в табл. 4.14.

Таблиця 4.14

**Технологічні параметри капсулювання нітроамофоски**

Швидкість повітря, м/с		4,67	5,40	6,04	6,61
Коефіцієнт масовіддачі, м/с		0,32	0,35	0,39	0,43
Витрата плівкоутворювача, $10^4$ кг/с	$G_{max}$	5,55	5,85	6,22	6,58
	$G_p$	4,21	4,62	5,06	5,49
	$G_{dmax}$	1,34	1,23	1,16	1,09
	$G_d$	0,99	0,95	0,92	0,90
Сумарна дійсна витрата ( $G_p + G_d$ ), $10^4$ , кг/с		5,20	5,57	5,98	6,39
Відносна різниця, %	$(G_{max} - G_p)/G_{max}$	24,1	21,0	18,6	16,5
	$(G_{max} - (G_p + G_d))/G_{max}$	6,3	4,8	3,8	2,9

*Джерело: розрахунки авторів*

Як видно із наведених даних (табл. 4.14) додаткове встановлення розпилюючих форсунок на висоті, що відповідає 50 % висоті шару нітроамофоски у стані псевдозрідження дає можливість збільшити дійсну витрату плівкоутворювача, в залежності від швидкості повітря, від 75,9÷83,5 % до 93,7÷97,1 %. Відповідно, зменшується час досягнення необхідної товщини покриття, що в свою чергу призводить до зменшення енергетичних витрат на здійснення процесу капсулювання.

Отже, в результаті аналізу запропонованої моделі капсулювання суміші полідисперсних частинок встановлені необхідні співвідношення кількості частинок різних розмірів для забезпечення однакових площі поверхні та товщини покриття. Експериментальними дослідженнями підтверджена адекватність даної моделі реальному процесу та встановлено, що для полідисперсної суміші частинок відношення товщин оболонок обернено пропорційне відношенню площ поверхонь частинок в першій степені, а відношенню радіусів частинок обернено пропорційне відношенню площі поверхонь частинок в квадраті. В роботі запропонована принципова технологічна схема капсулювання гранульованих мінеральних добрив із застосуванням розробленої плівкоутворювальної композиції.

У результаті аналізу закономірностей тепломасообміну під час капсулювання нітроамофоски водною суспензією плівкоутворювача удосконалена робота апарата псевдозрідженого стану, що дало змогу підвищити ефективність роботи установки періодичної дії з 75,9÷83,5 % до 93,7÷97,1 % за рахунок встановлення додаткового поясу форсунок за рахунок забезпечення кращого розподілу плівкоутворювача поверхнею частинок добрива та, відповідно, скоротити час капсулювання на 14,0÷18,9 %.

Відповідно, це в свою чергу дасть можливість підвищити ефективність роботи енергоустановок та зменшити споживання електричної енергії для виробництва мінеральних капсульованих добрив.

#### **4.4. Енергозберігаюча технологія виробництва добрива-меліоранта зі шламових відходів підприємств теплоенергетики**

© Пасенко А. В.

*к.т.н., доцент, доцент кафедри біотехнологій та біоінженерії,*

*Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, м. Кременчук, Україна*

Питання підвищення екологічної безпеки експлуатації об'єктів теплоенергетики за умов утилізації їх відходів, у тому числі, шламів технологічної лінії водоочищення теплоелектростанцій (ТЕС), є актуальною екологічною проблемою теплоенергетичної галузі [1, с. 140; 2, с. 20 – 107; 3, с. 159; 4, с. 137; 5, с. 194]. Одним з найбільш екологічно та економічно доцільних способів зменшення обсягів накопичення вказаних відходів на підприємствах теплоенергетики є використання шламових відходів водоочищення ТЕС як вторинної сировини у виробництві добрива-меліоранта з дотриманням вимог ресурсо- й енергозбереження. Ця технологія враховує переваги й недоліки попередніх розробок з цього напрямку і передбачає етап зневоднення вказаних відходів із застосуванням вторинних енергоресурсів підприємства теплоенергетики. Розроблена технологія переробки шламів

водоочищення в агрономічно цінний кальцієвмісний продукт є екологічно безпечною і рентабельною за умов комплексного використання сировинних та енергетичних ресурсів ТЕС при виробництві електроенергії. Запропонований спосіб утилізації відходів дозволяє поліпшити геоекологічну обстановку на території вказаних підприємств енергетичної галузі, забезпечує зниження собівартості виробленої електроенергії, а також відкриває альтернативний шлях щодо виробництва добрива-меліоранта. Згідно проведеного аналізу й розрахунків на прикладі Кременчуцької теплоелектроцентралі (ТЕЦ) витрати на переробку шламу, що здійснюється у межах технологічного процесу на ТЕЦ, є складовою частиною вартості продукції станції – кВт-години електроенергії, що виробляється на ТЕЦ. При цьому технологія має наступні переваги: не застосовуються високотемпературні процеси з використанням палива для зневоднення відходів, що дозволяє уникнути утворення додаткових викидів електростанцій; максимально використовуються усі ресурсоцінні складові відходів; відсутній кінцевий продукт-залишок процесу переробки за рахунок збереження й використання повного складу відходів; повністю ліквідується проблема накопичення шламових відходів водоочищення; отримане при реалізації технології кальцієвмісне добриво-меліорант використовується для підвищення родючості деградованих кислих ґрунтів.

Петрографічними дослідженнями встановлено, що шлам водоочищення ТЕЦ являє собою аналог природних вапняків (переважно дрібнокристалічних кальцитів з розміром зерен менше 15 мкм), але має переваги за рахунок вмісту більш дрібних фракцій і більшої розчинності у ґрунті. За хімічним складом шлам містить  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{CaSO}_4$ ,  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ,  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ,  $\text{Mg}(\text{OH})_2$ , органічні та грубодисперсні речовини. Близько 30 % шламу – це органічна речовина. Хімічний аналіз водних витяжок показав, що розчинна частина шламу має незначну мінералізацію (сума мінеральних речовин складає  $243 \text{ мг/дм}^3$ ) з декілька підвищеним вмістом іонів  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{HCO}_3^-$  та  $\text{Na}^+$ , невисокий вміст  $\text{Cl}^-$  і  $\text{Mg}^{2+}$ .

Отже, шлам водоочищення ТЕЦ як кальцієвмісний матеріал (сумарна масова частка сполук Кальцію і Магнію у перерахунку на карбонати в шламі складає 86,75 %), який збагачений органічною речовиною, може бути використаний в якості добрива-меліоранта для вапнування кислих ґрунтів [6, с. 62]. Але за агротехнологічними вимогами вологість матеріалів, що використовуються для вапнування, не повинна перевищувати 8 – 10 %. Тому перспективним для застосування в агрохімії є використання шламу водоочищення ТЕЦ після попереднього зневоднення до 10 % вмісту вологи.

За агрегатним станом вказані шламові відходи є неоднорідною сумішшю – суспензією з високим вмістом вологи. Використання вапняного шламу у вигляді пульпи або зневодненого до 30 – 60 % вологості є проблематичним для технічної реалізації транспортування, складування й технології щодо його утилізації. Тому рекомендується застосовувати технологічну схему переробки відходів, у якій передбачено процеси глибокого видалення вологи зі шламових відходів за умов мінімізації енерговитратності процесу. Важливим питанням при компонуванні технологічного процесу переробки шламу є збереження цілісності хімічного складу шламу й виключення можливості забруднення продукту токсичними речовинами [7, с. 30]. Це можливо за умов виключення високотемпературного режиму обробки шламу у технологічному процесі. Тому для зменшення теплового й хімічного забруднення навколишнього середовища і, виходячи з позицій енерго- і ресурсозбереження, запропоновано доцільне зниження дольової частки теплових процесів в технології видалення води зі шламових відходів з заміною їх на двохстадійний технологічний процес: 1 стадія – попереднє короткочасне зневоднення матеріалу до 90 % вологості маловитратним седиментаційним способом із подальшим застосуванням методу фільтрування (видалення вологи до 30 – 50 %); 2 стадія – остаточне зневоднення шламу до 5 – 10 % вологості методом термічної сушки при утилізації теплової енергії відпрацьованих газів і водяної пари, що утворюється [8, с. 136]. Такий підхід до побудови технологічної схеми дозволяє знизити, по-перше, енергетичні втрати (теплові втрати у навколишнє середовище при висушуванні, а саме з викидами і значною кількістю водяної пари), а по-друге, ресурсні втрати (витрата паливних ресурсів; втрата органічної складової частини шламу в результаті термообробки; втрати технічної води, що відводиться зі шламовою пульпою у шламонакопичувач).

Технологічна схема відділення води із шламових відходів установки водоочищення ТЕЦ передбачає виконання наступних операцій [9, с. 241]:

- збір і відведення шламової пульпи з споруд водоочищення;
- згущення шламової пульпи седиментаційним методом, отримання густої суспензії, видалення фільтрату на технологічні потреби до установки водоочищення електростанції;
- механічне зневоднення шламової суспензії методом фільтрування, отримання осаду, видалення фільтрату;
- висушування шламового осаду до мінімального вмісту вологи з використанням вторинних утилізованих енергоресурсів – низькопотенційної енергії відпрацьованих газів;
- утилізація енергії водяної пари, що утворюється;
- відведення конденсату на технологічні потреби установки водоочищення електростанції;
- збір і фасування органо-мінерального залишку.

Виходячи із середнього показника обсягів шламових відходів, що переробляються (5000 т/рік для середньої ТЕЦ), та з метою економії енергоресурсів на першому етапі зневоднення відходів пропонується використовувати гравітаційний метод у відстійнику періодичної дії. У вказаному відстійнику періодичної дії суспензія після закінчення певного часу розділяється на прояснену рідину (верхній шар) і осад з високою концентрацією твердої фази (нижній шар). Після видалення проясненої рідини (за допомогою насоса або сифону) через нижній штуцер вивантажують осад, чому сприяє конусне дно, і апарат знову завантажується. Шламова вода як промислові стоки з установки водоочищення ТЕЦ насосом подається в бак-відстійник, де відбувається відстоювання шламової води. У нижній конусній частині баку-відстійника утворюється густий осад (суспензія), а у верхній частині – прояснена вода, яка самопливом по трубопроводу відведення проясненої води поступає в бак проясненої води для подальшого повернення по лінії рециркуляції у технологічний процес водоочищення (технологічні потреби електростанції). У результаті відстоювання утворюється суспензія 90 % вологості. Отримана суспензія трубопроводом подається на апарат механічного зневоднення – фільтр-прес.

Виходячи з кількості шламових відходів і, отже, з потреб у фільтрувальному устаткуванні невисокої продуктивності пропонується використовувати фільтри періодичної дії – фільтр-прес автоматичний камерний ФПАКМ-25, призначений для фільтрування під тиском тонко дисперсних рідиноплинних суспензій, що містять від 10 до 500 кг/м<sup>3</sup> зважених частинок розміром не більше 3 мм, які утворюють осади з великим гідравлічним опором. Зневоднений осад, який отриманий у результаті процесу фільтрування на ФПАКМ-25, вивантажується на стрічковий конвеєр, по якому потім подається у приймальний пристрій – бункер, а прояснена вода – рідка фаза суспензії проходить через тканину і дренажну основу фільтру, потрапляючи в колектор зливу, і далі самопливом поступає в бак фільтрату для повернення по лінії рециркуляції на технологічні потреби електростанції. Механічне зневоднення забезпечує видалення води зі шламу й отримання матеріалу 30 – 50 % вологості.

Для одержання продукту з 5 – 10 % вологістю пропонується після механічного зневоднення використовувати процес сушки матеріалу. Сушку матеріалів за різними технологіями здійснюють природним або штучним способами. За способом підведення теплової енергії до матеріалу, який висушують, розрізняють конвективну й кондуктивну сушку, а також сушку із застосуванням енергетичних полів (терморадіаційна сушка, сушка із застосуванням високочастотних струмів, сушка в акустичному полі). За видом газового теплоносія конвективна сушка твердих частинок може здійснюватися нагрітим повітрям, топковими газами, інертними газами, перегрітими парами води й органічних рідин та іншими теплоносіями, які мають температуру, що відрізняється від температури твердих частинок, що висушують. Штучна сушка у більшості випадків здійснюється попередньо нагрітим повітрям. У технологічній схемі, що розглядається, виключений кондуктивний спосіб сушки шламу відпрацьованими газами ТЕЦ унаслідок токсичності димових газів. Ці токсичні продукти газів можуть адсорбуватися матеріалом, який висушують, а насичення отриманого продукту токсичними речовинами та сполуками Сульфуру є неприпустимим для його подальшого використання у різних галузях народного господарства, у тому числі, у сільському господарстві. Тому в технології пропонується використовувати теплову енергію відпрацьованих газів теплоелектростанції для конвективного нагрівання у теплообміннику сушильного агента – атмосферного повітря.

Важливими показниками процесу сушки є продуктивність (швидкість випаровування, що залежить від типу сушарки) і витрата теплової енергії. Вибір вискоефективної типової сушарки проводиться з урахуванням основних характеристик матеріалу, який висушують. Вологі дисперсні матеріали як об'єкти сушки можна характеризувати за технологічними властивостями (допустима температура нагрівання, токсичність, вибухонебезпека), за агрегатним станом (тверді, пастоподібні, суспензії, розчини), за хімічним складом, за сорбційно-структурними характеристиками матеріалу (з урахуванням видів та енергії зв'язку вологи з матеріалом і його адгезійно-когезійних властивостей) та ін. Найбільш важливими є властивості, які впливають на кінетику теплових і масообмінних процесів під час сушки, та не залежать від параметрів технологічного процесу.

Згідно з класифікацією вологих дисперсних матеріалів, що підлягають висушуванню, шлам установки водоочищення ТЕЦ з вологістю 30 – 50 % належить до третьої групи речовин, під час сушки яких необхідно підвести кількість тепла, яка буде достатньою для їх прогрівання та випаровування вільної й зв'язаної вологи. Тому для інтенсифікації процесу сушки без зниження економічної ефективності роботи сушарки та забезпечення високої якості готового продукту з певною залишковою вологістю необхідно забезпечити активний гідродинамічний режим у сушильному апараті. Основними ознаками активних гідродинамічних режимів є: розвинена поверхня взаємодії фаз, гідродинамічна стійкість, наближення гідродинамічної моделі потоків в апараті до моделі ідеального витіснення, а також збільшення відносної швидкості руху фаз, зниження енергоємності процесу та металоємності апаратів.

В технології рекомендована наступна схема сушильного комплексу (рис. 4.11).

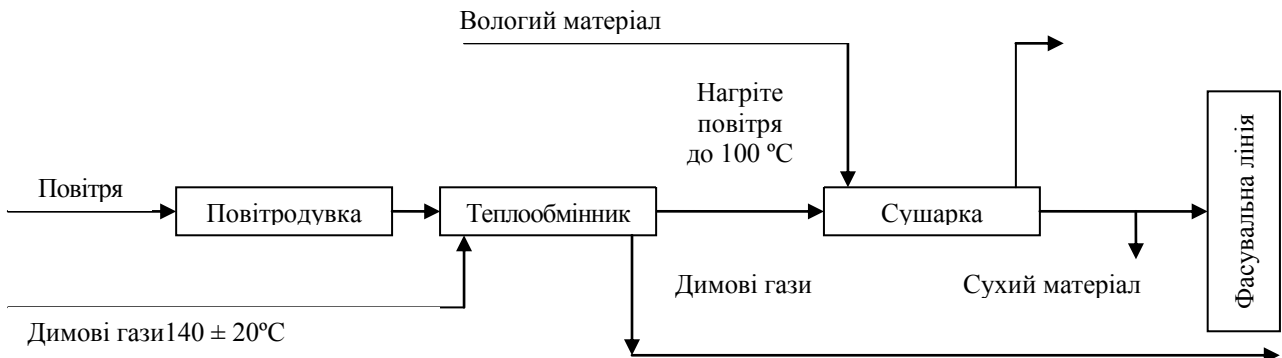


Рис. 4.11. Схема сушильного комплексу для сушки шламу водоочищення ТЕЦ з вологістю 30 – 50 %  
Джерело: авторська розробка

У технологічній схемі зневоднення шламових відходів, що розглядається, обраний конструктивний тип сушильного агрегату – барабанну сушарку, яка має наступні переваги:

- достатньо висока швидкість процесу сушки (у 2 – 3 рази швидше, ніж у шахтних сушарках);
- рівномірність розігріву й сушки матеріалу за рахунок інтенсивного перемішування матеріалу;
- можливість висушування засміченого матеріалу;
- нескладність монтажу (не потребує капітальних споруд);
- надійність роботи (виключено утворення застійних зон);
- низьке споживання електроенергії.

Згідно зі схемою рекомендовано барабанну сушарку безперервної дії з примусовою циркуляцією повітряного теплоносія. Активний гідродинамічний режим сушки забезпечується інтенсивним перемішуванням матеріалу в потоці теплоносія. У циліндровому барабані матеріал і газоподібний сушильний агент рухаються паралельно потоком, що допомагає запобігти перегріву матеріалу, тому що нагріте повітря спочатку стикається з найбільш вологим вихідним матеріалом. Невисока температура сушильного агенту (до 100 °С) забезпечує збереження органічної частини шламу – цінної складової відходів. За кратністю використання теплоносія сушарка – прямоточна. Видалення вологи із сушарки здійснюється відводом з відпрацьованим сушильним агентом повітрям, яке перед викидом в атмосферу очищують від пилу у циклоні. Час перебування матеріалу у сушарці регулюється швидкістю обертання барабана, рідше – зміною кута його нахилу. Висушений матеріал видаляється через розвантажувальну камеру і подається на фасувальну лінію.

При висушуванні частинок шламу виникають два процеси, що перебігають у протилежних напрямках. Перший процес, або період постійних умов, продовжується до тих пір, поки випаровування відбувається вільно і на всіх частинках шламу ще залишається плівка води. Протягом цього періоду температура висушуваного матеріалу не піднімається вище за точку роси газів, які видаляються й виносять воду, що випарувалася. Другий період, який протікає зі швидкістю, що зменшується, починається у той момент, коли зовнішня волога випаровується настільки, що не покриває суцільно всю поверхню частинок шламу. Сухі поверхні частинок починають стикатися з повітряним шаром, і швидкість випаровування зменшується. Швидкість випаровування залежить від того, наскільки швидко волога переміщується з внутрішніх частин шламових частинок на поверхню. Як тільки вода з поверхні видалена, випаровування відбувається у тих шарах частинки, які лежать усередині, під поверхнею. За цих умов поверхня може сильно нагрітися, тоді як усередині ще присутня значна кількість вологи.

Робота сушарки, яка заснована на вищевказаних фізичних процесах, за умов економічної доцільності реалізації технології повинна відповідати наступним вимогам:

- кількість нагрітого повітря за температури, трохи вищої за критичну температуру, при якій ще можливо сушити частинки шламу, має бути достатньою для реалізації технології;
- час знаходження частинки шламу в сушарці має бути мінімальним, але забезпечувати належне видалення вологи;
- відпрацьовані гази теплоносія повинні мати достатньо високу температуру, щоб попередити процес конденсації пари до того, як вони покинуть сушарку;
- у сушарці має бути забезпечений тісний контакт гарячого повітря та шламу, який висушують;
- сушарка має бути нескладною за будовою та легко регулюватися.

До чинників, що впливають на швидкість сушки частинок шламу, належать наступні: вміст зовнішньої вологи у вихідному шламі; вміст зовнішньої вологи у висушеному шламі; вага нагрітого повітря, що поступає в сушарку; температура відпрацьованих газів; середній розмір твердих частинок шламу. Найбільш надійним критерієм, що впливає на ефективність роботи сушарки, є кількість теплоти, яку має нагріте повітря на одиницю ваги видаленої технічної води:

$$q = Q / 1\text{кг}, \quad (4.4)$$

де  $q$  – питома витрата теплоти,  $[q] = \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$ .

Час, що необхідний для нагріву частинки шламу, може бути визначений за формулою:

$$T = KR^2 C_p / \alpha, \quad (4.5)$$

де  $K$  – коефіцієнт пропорційності (встановлюється експериментальним шляхом);

$R$  – еквівалентний радіус твердої частинки шламу,  $[R] = \text{м}$ ;

$C$  – питома теплоємність висушуваного шламу,  $[C] = \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{К}}$ ;

$\rho$  – питома вага шламу,  $[\rho] = \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ ;

$\alpha$  – коефіцієнт теплопровідності,  $[\alpha] = \frac{\text{Дж}}{\text{м} \cdot \text{с} \cdot ^\circ\text{К}}$ .

Співвідношення  $\alpha / C \cdot \rho$  є коефіцієнтом термодифузії.

Для розрахунку технологічних параметрів сушильного агрегату необхідно знати кількість води, що випаровується, температуру повітря при вході у сушарку та теплофізичні параметри шламу, які встановлюють експериментальним шляхом.

Для встановлення теоретичних залежностей між окремими елементами досліджуваних явищ та процесів, у тому числі виробничо-технологічних систем, розроблена математична модель кінетики процесу сушки як основної ланки технологічної лінії утилізації шламових відходів водоочищення ТЕЦ з отриманням добрива-меліоранта.

На часовій ділянці від  $t = 0$  до  $t \rightarrow \infty$  процес сушки має три різних за своїми характеристиками періоди: період прогрівання; період випаровування (перший період); період внутрішнього масопереносу (другий період). Математичну інтерпретацію цих періодів отримують, виходячи з двох позицій: аналізуючи тепловий баланс з урахуванням наявності води, або моделюючи процеси тепло-масопереносу [10, с. 168]. Розглядаються обидва підходи. Криві кінетики сушки отримують, аналітично описуючи рух тепла й маси рідини у шламі, який висушують. Такий підхід має переваги в порівнянні з енергобалансовим, оскільки дозволяє встановити безпосередній зв'язок кінетичних характеристик процесу сушки з мікроструктурними параметрами шламу водоочищення. З урахуванням гранулометричного складу шламу окремо узяті його зерна представляють у вигляді сферичного тіла зі статистично розподіленим радіусом  $R_i$ . При моделюванні розглядається більш узагальнена задача розподілу теплового поля в порівнянні з класичною. Якщо припустити, що сферична частинка шламу, яка характеризується вологовмістом  $U$ , містить певну кількість рідини на поверхні, то необхідно враховувати процес випаровування, який матиме різну активність у різних періодах сушки. Теоретичні розрахункові залежності кінетики процесу випаровування води під час сушки базуються на показниках лінійної функції – вологовмісту матеріалу. Для порівняльного аналізу кореляцій теоретичної моделі з експериментальними даними розглядають показники вологості шламу протягом різних періодів сушки.

1. Період прогрівання.

Розрахунковий показник вологості шламового матеріалу в період прогрівання представлений робочою формулою:

$$W = \frac{U_{\Pi} - A \left[ t - B \cdot \left( 1 - e^{-\frac{t}{B}} \right) \right]}{1 + \left\{ U_{\Pi} - A \left[ t - B \cdot \left( 1 - e^{-\frac{t}{B}} \right) \right] \right\}}, \quad (4.6)$$

де  $[A] = \frac{1}{\text{с}}$ ,  $[B] = \text{с}$ ,  $[t] = \text{с}$ ,  $A \in [10^{-4} \div 10^{-1}]$ ,  $B \in [10^{-3} \div 10^3]$ ;

$\bar{U}_{\Pi}$  – початковий вологовміст, усереднений за об'ємом тіла.

2. Перший період.

Для розрахунку вологості матеріалу у перший період сушки отримали робочу формулу:

$$W_{\text{експ}}(t) \cong W_0 - v \cdot t, \quad (4.7)$$

де  $W_0$  – кількість рідини в тілі при  $t = 0$ ;

$v$  – нормована швидкість випаровування,  $v = \frac{V_{\text{експ}}}{G_{\text{сух}} + W_0} = \frac{V_{\text{експ}}}{G_{\text{вол.тіла}}}$ ,  $G_{\text{вол.тіла}}$  – маса вологого тіла,

$V_{\text{експ}}$  – швидкість випаровування з експериментальної залежності  $V(t)$ .

3. Другий період.

Математичний вираз щодо розрахунку вологості шламу для другого періоду сушки представлений формулою:

$$W = \frac{U_{\text{серед}} + 0,63(U_{t_2} - U_{\text{серед}}) \cdot e^{-0,2410^8 \cdot D \cdot t}}{1 + U_{\text{серед}} + 0,63(U_{t_2} - U_{\text{серед}}) \cdot e^{-0,2410^8 \cdot D \cdot t}}, \quad (4.8)$$

де  $U_{\text{серед}}$  – вологовміст середовища;

$U_{t_2}$  – вологовміст у точці початку другого періоду;

$$[D] = \frac{M^2}{c}, \quad D \in [10^{-10} \div 10^{-8}];$$

$t = \Delta t$  – від початку другого періоду сушки.

Згідно з математичними залежностями, які викладені у формулах (4.3 – 4.5), графічно побудовані теоретичні криві змін вологості шламу з часом в процесі його сушки при різних температурних режимах. Зіставлення теоретичних та експериментальних кривих сушки шламу підтверджує адекватність математичної моделі кінетики процесу щодо даних, які отримані в експерименті з термічної обробки відходів.

Згідно з математичними залежностями, які викладені у формулах (4.3 – 4.5), графічно побудовані теоретичні криві змін вологості шламу з часом в процесі його сушки при різних температурних режимах. Зіставлення теоретичних та експериментальних кривих сушки шламу підтверджує адекватність математичної моделі кінетики процесу щодо даних, які отримані в експерименті з термічної обробки відходів.

Отже, процес висушування шламу водоочищення ТЕЦ розподіляється на три часові періоди, які характеризуються певними часовими залежностями вологовмісту матеріалу. Детальний математичний аналіз класичних комплексних задач масопереносу щодо термічного процесу зневоднення шламу ТЕЦ підтверджує вибір найбільш ефективного режиму обробки шламу – сушки його у нагрітому газовому потоці в кондукторі, який обертається, тобто барабанній сушарці [11, с. 37 – 38].

За рекомендованою технологічною схемою з урахуванням незначної кількості водяної пари, що утворюється в процесі сушки шламових відходів у барабанній сушарці (~ 40 кг/год. води при висушуванні 2,5 т/доб шламу 30 – 50 % вологості), у технологічний процес їх зневоднення не вводять обладнання для утилізації енергії пари та відведення конденсату із сушильної установки, тому що це технічно нераціонально й економічно недоцільно.

Використання на підприємстві теплоенергетики вторинних енергоресурсів – низькопотенційної енергії відпрацьованих димових газів ТЕЦ для висушування шламових відходів водоочищення в технології отримання добрива-меліоранта дозволяє підприємству щорічно економити в обігових коштах за рахунок виключення закупівлі природного палива на процес термічного зневоднення шламу. Впровадження розробленої технології утилізації шламових відходів водоочищення ТЕЦ та реалізація у торгівельній мережі отриманого кальцієвмісного матеріалу як замітника вапна дозволяє підприємству отримувати додаткові обігові кошти, які направляються на оновлення та модернізацію технологічного обладнання основного виробництва.

Отриманий у розглянутій енергозберігаючій технології ресурс оцінений кальцієвмісний товарний продукт придатний для реалізації в мережі збуту товарів сільськогосподарського призначення. Технологія забезпечує агропромисловий сектор якісним з невисокою вартістю добривом-меліорантом для проведення агрохімічних заходів щодо підвищення родючості кислих ґрунтів.

#### 4.5. Енергозберігаюча система обробітку ґрунту на базі електрифікованого мотоблоку

© Ковальов О. В.

*ст. викладач кафедри електротехніки і електромеханіки ім. професора В. В. Овчарова, Таврійський державний агротехнологічний університет, м. Мелітополь, Україна*

Для підвищення ефективності виробництва овочів в спорудах захищеного ґрунту широке застосування отримали малогабаритні мобільні агрегати у вигляді мотоблоків з двигунами внутрішнього згорання (ДВЗ) потужністю 1 – 7 кВт вітчизняного і зарубіжного виробництва. Під час роботи мобільних агрегатів з ДВЗ в теплицях і парниках підвищується рівень шуму і загазованості повітря, які негативно впливають не тільки на людей, але й на рослини. Причина цього – продукти неповного згорання рідкого палива, які осідаючи на заклепу або плівкову поверхню даху і стін зменшують їх світлопроникність і, як наслідок, знижують ріст і розвиток рослин. До недоліків мотоблоків з ДВЗ також відносяться досить високі питомі витрати рідкого палива, що має високу вартість, труднощі при пуску і зупинці агрегату, а також невисока надійність ДВЗ.

Більш перспективними для роботи в спорудах захищеного ґрунту є мобільні агрегати з тяговими електродвигунами (ТЕД), що отримали назву електромоблоків, як екологічно чисті агрегати, що не мають названих недоліків [1, с. 32; 5, с. 30].

Електропривод мотоблока являє собою послідовне з'єднання елементів в енергетичній частині, що утворюють силовий канал, який показує процеси передачі та перетворення енергії. Структура такого електроприводу наведена на рис. 4.12, а). В його складі – силові елементи, які беруть безпосередню участь в процесі перетворення електричної енергії в механічну, і елементи, що перетворюють інформацію, необхідну для управління процесом перетворення енергії. Інформаційна частина представлена без поділу на блоки і в загальному випадку вона може бути пов'язана з усіма силовими елементами.

На рис. 4.12, б) зображено приклад фізичної реалізації послідовного силового каналу електроприводу мотоблока. Розглянемо “зліва-направо” елементи силового каналу, які беруть участь в перетворенні енергії.

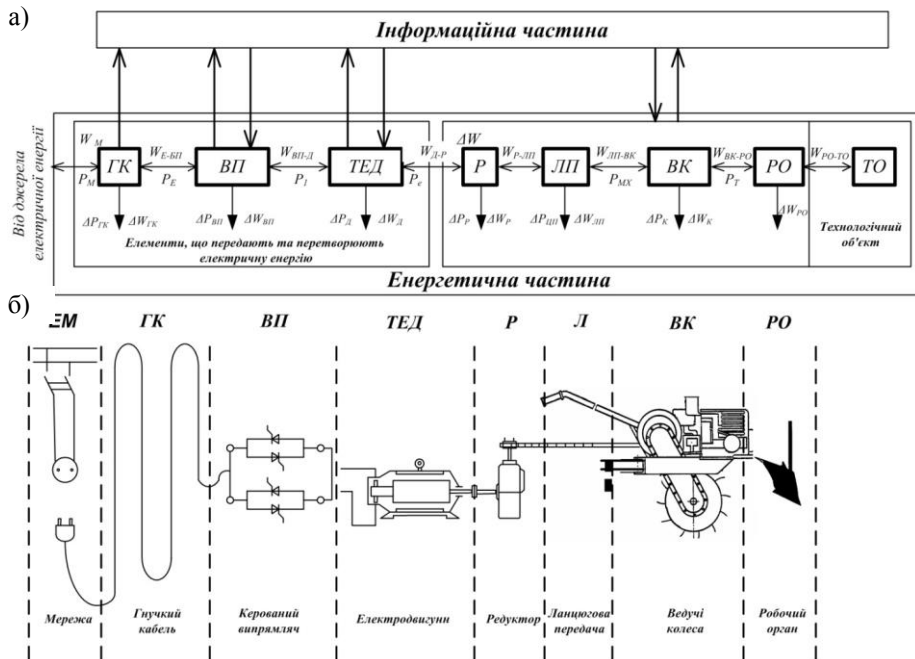


Рис. 4.12. Структурна а) електромеханічна б) схеми енергозберігаючої системи обробітку ґрунту на базі електрифікованої мотоблока

*Джерело: узагальнено автором*

Першим показаний елемент силового каналу, який представляє собою гнучкий кабель (ГК), за яким здійснюється підведення електроенергії з мережі змінного струму (ЕМ). Будемо вважати, що з ГК пов'язані характеристики напруги живлення – частота, величина падіння напруги при зміні споживаного струму і т. ін. Вентильний перетворювач (ВП) перетворює електричну енергію змінного струму в електричну енергію постійного струму, необхідну для подальшого електромеханічного перетворення в ТЕД, крім того, ВП виконує роль пристрою управління рівнів потоків енергії до ТЕД. У ВП в процесі перетворення електричної енергії виникають втрати енергії  $\Delta W_{ВП}$ .

Тяговий електродвигун перетворюючи електричну енергію в механічну, задає з урахуванням параметрів і навантажень механічної частини, характер механічного руху і змінні, що визначають цей рух: електромагнітний момент  $M$  і кутову швидкість  $\omega$  при обертальному русі, силу тяги  $F$  і лінійну швидкість  $V$  при поступальному русі робочого органу (РО). При електромеханічному перетворенні енергії в ТЕД виникають втрати енергії  $\Delta W_d$ . Стосовно до електромоблоку, змінні, задані ТЕД, перетворюються до вигляду і параметрів, необхідних на робочому органі, наприклад плузі при оранці ґрунту. Тому в складі силової частини енергетичного каналу передбачається передавальний механізм (ПМ), що зв'яже ТЕД з виконавчим механізмом (ВМ). У розглянутому прикладі в якості ПМ використовується редуктор, що знижує швидкість і збільшує момент, отриманий на виході ТЕД до величини, необхідної виконавчого механізму. Цю роль виконують ведучі колеса (ВК), що обертаються на осі і переміщуються по ґрунту з необхідною швидкістю  $V$ . При цьому в ПМ, ВК і РО в робочому режимі виникають втрати  $\Delta W_{ПМ}$ ,  $\Delta W_{ВК}$  та  $\Delta W_{РО}$  (рис. 4.12, а).

Отже, процес передачі і перетворення енергії в силовому каналі супроводжується її частковою втратою в кожному з елементів. Всі елементи силового каналу електроприводу мотоблока здатні



накопичувати енергію в тому чи іншому вигляді в залежності від типу елемента. Ця здатність визначається наявністю в силовому каналі індуктивних елементів-накопичувачів електричної енергії і магнітного поля, і ємностей-накопичувачів енергії електричного поля, пружних елементів, що накопичують потенційну механічну енергію, обертових і рухомих лінійних мас, здатних акумулювати кінетичну енергію. Тому складаючи баланс потужностей потоків енергії для силового каналу електроприводу мотоблоку, обмежимося урахуванням кінетичної енергії рухомих мас, вважаючи, що зміна потенційної енергії в системі не відбувається. Тоді в загальному випадку вказаний баланс потужностей можна записати у вигляді:

$$P_e = \sum_i J_i \omega_i \frac{d\omega_i}{dt} + \sum_j m_j V_j \frac{dV_j}{dt} + \sum_k \Delta P_k + M\omega + FV, \quad (4.9)$$

де  $P_e$  – потужність потоку електричної енергії, споживаної з мережі;

$$\sum_i J_i \omega_i \frac{d\omega_i}{dt} \text{ та } \sum_j m_j V_j \frac{dV_j}{dt} \quad (4.10)$$

– потужності, пов’язані із збільшенням або зменшенням мас, що обертаються або лінійно переміщуються;

$\sum_k \Delta P_k$  – сумарні втрати потужності у всіх елементах силового кола;

$M\omega, FV$  – потужності механічної енергії, пов’язані з обертовим або лінійним рухом.

При цьому сумарна потужність втрат в силовому каналі складає:

$$\sum_k P_k = \Delta P_{ГК} + \Delta P_{ВП} + \Delta P_{Д} + \Delta P_{МП} + \Delta P_{К}, \quad (4.11)$$

де  $\Delta P_{ГК}$  – електричні втрати в живлячому гнучкому кабелі;

$\Delta P_{ВП}$  – втрати в керованому випрямному перетворювачі;

$\Delta P_{Д}$  – сумарні втрати в тяговому електродвигуні;

$\Delta P_{МП}$  – втрати в механічній передачі;

$\Delta P_{К} = \Delta P_{\sigma} + \Delta P_{f}$  – втрати в ходовій частині на буксування коліс  $\Delta P_{\sigma}$  та перекачування коліс  $\Delta P_{f}$ .

У зв’язку з цим є дуже важливим формування таких режимів управління тяговим двигуном мотоблоку, які забезпечують оптимальне регулювання стосовно кожного інтервалу кутових швидкостей характеристики  $M_*(\omega_*)$  по мінімуму втрат двигуна за допомогою порівняно простих по конструкції і керуванню вентильних перетворювачів (ВП) при централізованому електропостачанні [4, с. 146].

При розгляді ККД тягового електродвигуна [3, с. 83] були приведені розрахункові рівняння для визначення складових постійних та змінних втрат. З урахуванням цих рівнянь втрати можна представити у вигляді:

$$\Delta P_c = \Delta P_{МХ.Н} \cdot \omega_*^n + \Delta P_{МГ.Н} \cdot \omega_*^\beta \cdot \Phi^2 + \Delta P_{Д.Н}; \quad (4.12)$$

$$\Delta P_v = \Delta P_{а.Н} \cdot I_*^2 + \Delta P_{3\phi.Н} \cdot I_{3\phi}^2 + \Delta P_{Щ.Н} \cdot I_*^2, \quad (4.13)$$

де  $\Delta P_{МХ.Н}; \Delta P_{МГ.Н}; \Delta P_{Д.Н}; \Delta P_{а.Н}; \Delta P_{3\phi.Н}; \Delta P_{Щ.Н}$  – потужності окремих видів втрат при номінальному навантаженні.

Для оцінки сумарних втрат  $\Delta P_c$  і  $\Delta P_v$ , а також окремих видів втрат в тяговому двигуні доцільно їх представити у вигляді відношення до сумарних номінальних втрат  $\Delta P_{\Sigma Н}$ :

$$\begin{aligned} \Delta P_{v*} &= \Delta P_{vН*} / \Delta P_{\Sigma Н*}; & \Delta P_{c*} &= \Delta P_{cН*} / \Delta P_{\Sigma Н*}; \\ a_1 &= \Delta P_{МХ.Н} / \Delta P_{\Sigma Н}; & a_2 &= \Delta P_{МГ.Н} / \Delta P_{\Sigma Н}; & a_3 &= \Delta P_{Д.Н} / \Delta P_{\Sigma Н}; \\ a_4 &= \Delta P_{а.Н} / \Delta P_{\Sigma Н}; & a_5 &= \Delta P_{3\phi.Н} / \Delta P_{\Sigma Н}; & a_6 &= \Delta P_{Щ.Н*} / \Delta P_{\Sigma Н}. \end{aligned} \quad (4.14)$$

При цьому:

$$\Delta P_{\Sigma Н} = P_H \frac{1 - \eta_H}{\eta_H}, \quad (4.15)$$

визначається за паспортними даними.

Рівняння втрат  $\Delta P_c$  (4.12) та  $\Delta P_v$  (4.13) з урахуванням (4.14) приймуть вид:

$$\Delta P_{c*} = a_1 \cdot \omega_*^n + a_2 \cdot \omega_*^\beta \cdot \Phi_*^2 + a_3; \quad (4.16)$$

$$\Delta P_{v*} = a_4 \cdot I_*^2 + a_5 \cdot I_{36*}^2 + a_6 \cdot I_*^2. \quad (4.17)$$

З урахуванням того, що  $I_* = M_* / \Phi_*$ ;  $I_* = 1 / U_*$ , то змінні втрати в тяговому двигуні можна представити в функції потоку і напруги:

$$\Delta P_{v*} = a_4 \cdot M_*^2 / \Phi_*^2 + a_5 \cdot \beta_{\text{ОП}}^2 M_*^2 / \Phi_*^2 + a_6 M_*^2 / \Phi_*^2; \quad (4.18)$$

$$\Delta P_{v*} = a_4 \cdot 1 / U_*^2 + a_5 \cdot 1 / U_*^2 + a_6 \cdot 1 / U_*^2. \quad (4.19)$$

При роботі електроприводу необхідно задати координати механічного руху  $M$  і  $\omega$ , тому параметрами, що дозволяють змінити величину втрат в ТЕД є напруга живлення  $U_*$  та магнітний потік  $\Phi_*$ , створюваний струмом  $I_{36*}$  в обмотці збудження двигуна.

Зв'язок між магнітним потоком  $\Phi_*$  та струмом збудження  $I_{36*}$  визначається кривою намагнічування магнітного кола двигуна  $\Phi_* = f(F_{36*})$ , наведеною на рис. 4.13 Якщо ТЕД працює на лінійні ділянці кривої намагнічування, то  $I_{36*} = \Phi_*$ , і потік, при якому втрати мінімальні визначається за умовою:

$$d\Delta P_{\Sigma*} / d\Phi_* = 0 \text{ або } d\Delta P_{c*} / d\Phi_* = d\Delta P_{v*} / d\Phi_*. \quad (4.20)$$

Зазначимо, що в загальному випадку згідно рис. 4.13 магнітний потік  $\Phi_*$  є нелінійною функцією струму збудження:

$$I_{36*} = \Phi_* / K_\mu, \quad (4.21)$$

де  $K_\mu$  – коефіцієнт насичення магнітного кола ДПС.

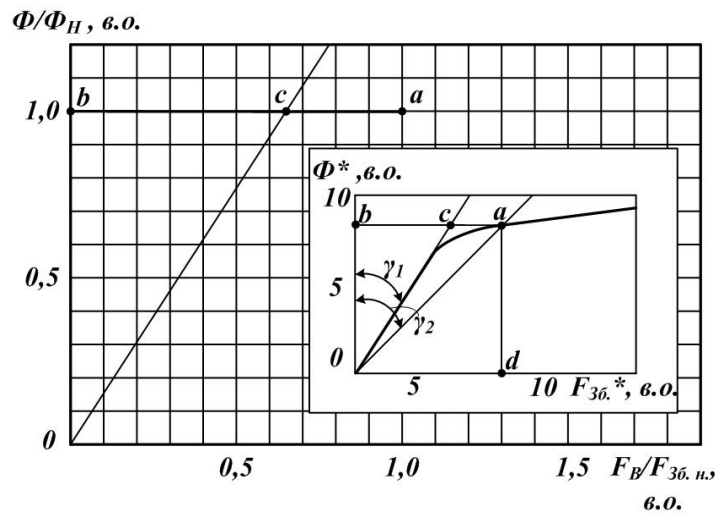


Рис. 4.13. Універсальна магнітна характеристика ДПС

Джерело: розрахунки автора

Згідно кривої намагнічування в точці а коефіцієнт  $K_\mu$  визначається як відношення відрізків або магніторухійних сил:

$$K_\mu = \frac{\overline{ab}}{\overline{bc}} = \frac{F_{ax}}{F_{c*}}. \quad (4.22)$$

У відповідності з (4.20) визначимо мінімальні сумарні втрати в ТЕД при припущенні, що магнітний потік  $\Phi_*$  лінійно залежать від струму збудження  $I_{36*}$ . Похідні по потоку від сумарних постійних втрат  $\Delta P_{c*}$  (4.16) і змінних втрат  $\Delta P_{v*}$  (4.18) дорівнюють:

$$d\Delta P_{c*} / d\Phi_* = -2a_2 \Phi_* \omega_*^3; \quad (4.23)$$

$$d\Delta P_{v*} / d\Phi_* = 2a_4 M_*^2 / \Phi_*^3 + 2a_5 \beta_{\text{ОП}}^2 M_*^2 / \Phi_*^3 + 2a_6 M_*^2 / \Phi_*^3. \quad (4.24)$$

При сумісному рішенні рівнянь (4.20), (4.23) та (4.24) отримаємо значення потоку, при якому втрати в двигуні мінімальні для заданих значень  $M_*$  і  $\omega_*$ :

$$\Phi_{\text{ОПТ}^*}^2 = M_* \sqrt{\frac{a_4 + a_5 \beta_{\text{ОП}}^2 + a_6}{a_2 \omega_*^\beta}}. \quad (4.25)$$

Сумарні втрати в двигуні для оптимального значення потоку збудження отримаємо з (4.18) та (4.19) при виконанні умови (4.25):

$$\Delta P_{\Sigma \text{min}^*} = 2M_* \sqrt{(a_4 + a_6)(a_5 + a_2 \omega_*^\beta)} + a_1 \omega_*^n. \quad (4.26)$$

В реальних умовах експлуатації тягових двигунів магнітний потік  $\Phi_*$  є нелінійною функцією струму збудження  $I_{36,*}$ , тому виникає необхідність визначення характеристик і умов регулювання, тобто режиму керування, який забезпечує мінімальні сумарні втрати в ТЕД при реалізації закону керування  $M_*(\omega_*)$  на всіх інтервалах значень кутових швидкостей. Очевидно, що найбільш ефективним з енергетичної та практичної точки зору є режим керування ТЕД, що забезпечує найменші втрати або максимальний ККД при порівняно нескладній програмі та пристрої керування ТЕД в приводі мотоблоку.

Отримані рівняння постійних  $\Delta P_{c^*}$  та змінних  $\Delta P_{v^*}$  втрат у вигляді функційних залежностей від основних параметрів регулювання ДПС  $U_*$  і  $\Phi_*$  дозволяють обґрунтувати простий в реалізації режим керування ТЕД мотоблоку по максимуму ККД. Умовою отримання максимального ККД ДПС є рівність постійних та змінних втрат:

$$\Delta P_{c^*} = \beta_m^2 \Delta P_{v^*}, \quad (4.27)$$

де  $\beta_m = \frac{P_2}{P_{2H}}$  – коефіцієнта завантаження ДПС, при якому ККД досягає максимального значення.

З (4.27) отримаємо:

$$\beta_m^2 = \Delta P_{c^*} / \Delta P_{v^*}. \quad (4.28)$$

З урахуванням (4.16) і (4.17), задаючись показниками ступеня кутової швидкості  $\omega_*$   $n=1,5$  і  $\beta=1,5$ , отримаємо:

$$\beta_m^2 = \frac{a_1 \omega_*^{1,5} + a_2 \Phi_*^2 \omega_*^{1,5} + a_3}{a_4 \cdot I_*^2 + a_5 \cdot I_{36,*}^2 + a_6 \cdot I_*^2}, \quad (4.29)$$

або, з урахуванням того, що  $I_* = 1 / U_*$ :

$$\beta_m^2 = \frac{a_1 \omega_*^{1,5} + a_2 \Phi_*^2 \omega_*^{1,5} + a_3}{a_4 \cdot 1 / U_*^2 + a_5 \cdot 1 / U_*^2 \beta_{\text{ОП}}^2 + a_6 \cdot 1 / U_*^2}, \quad (4.30)$$

де  $a_1 \dots a_6$  – коефіцієнти, що визначають співвідношення окремих видів втрат до сумарних втрат ДПС при номінальному навантаженні.

У сучасних ДПС значення  $\beta_m$  знаходиться в межах  $\beta_m = 0,7 \dots 0,9$ , що закладається при проектуванні двигунів і пояснюється найбільш вірогідним тривалим завантаженням ДПС в умовах експлуатації. Коефіцієнти відносних втрат у ДПС послідовного збудження істотно різної потужності відрізняються незначно. Тому в розрахунках, якщо параметри обраного ДПС не зазначені, можна використовувати усереднені значення  $a_1 \dots a_6$ :  $a_{1(\text{МХ})} = 0,05 \dots 0,06$ ;  $a_{2(\text{МГ})} = 0,1 \dots 0,3$ ;  $a_{3(\text{Д})} = 0,05 \dots 0,1$ ;  $a_{4(\text{Е.А.})} = 0,45 \dots 0,5$ ;  $a_{5(\text{Е.П.36})} = 0,17 \dots 0,19$ ;  $a_{6(\text{Щ})} = 0,03 \dots 0,05$ .

Рівняння (4.29) і (4.30) дозволяють оцінити як змінюється співвідношення постійних і змінних втрат  $\Delta P_{c^*} / \Delta P_{v^*}$  тягового електродвигуна при зміні основних параметрів регулювання  $U_*$  і  $\Phi_*$ , та визначити режим керування тяговим електродвигуном по максимуму ККД.

У відповідності з (4.27) сумарні втрати при максимальному ККД в двигуні дорівнюють:

$$\Delta P_{\Sigma \text{ОПТ}^*} = \Delta P_{c^*} + \beta_m^2 \Delta P_{v^*}. \quad (4.31)$$

Напруга  $U_{\text{ОПТ}^*}$ , при якій втрати будуть мінімальними, а ККД максимальним визначається з умови:

$$\frac{d\Delta P_{\Sigma \text{ОПТ}^*}}{dU_*} = 0. \quad (4.32)$$

або

$$\frac{d\Delta P_{c^*}}{dU_*} = \frac{-\beta_T^2 \Delta P_{v^*}}{dU_*}. \quad (4.33)$$

З (4.30), узявши похідні по виразам у чисельнику та знаменнику з урахуванням, що  $\Phi_* \cong U_* / \omega_*$ , отримаємо:

$$\frac{d\Delta P_{c^*}}{dU_*} = 2a_2 U_* \sqrt{\omega_*}; \quad (4.34)$$

$$\frac{d\beta_m^2 \Delta P_{v^*}}{dU_*} = \beta_m^2 \left( -\frac{2a_4}{U_*^3} - \frac{2a_5 \beta_{оп}^2}{U_*^3} - \frac{2a_6}{U_*^3} \right). \quad (4.35)$$

При сумісному рішенні (4.32), (4.33) и (4.34), отримаємо:

$$U_{опт^*} = \beta_m \sqrt{\frac{a_4 + a_5 \beta_{оп}^2 + a_6}{a_2 \sqrt{\omega_*}}}, \quad (4.36)$$

де  $U_{опт^*}$  – оптимальне значення напруги, що забезпечує керування ДПС при максимальному ККД.

Магнітний потік  $\Phi_{опт^*}$  і струм збудження  $I_{опт^*}$  при регулюванні напруги по (4.36) приймаємо рівними:

$$\Phi_{опт^*} \cong U_{опт^*} / \omega_*; \quad I_{опт^*} \cong U_{опт^*} / (K_\mu \cdot \omega_*), \quad (4.37)$$

Характеристика регулювання напруги  $U_{опт^*}$  (4.36), потоку  $\Phi_{опт^*}$  и струму  $I_{зб,опт^*}$  сумісно з вірно обраними умовами регулювання забезпечують режим керування тяговим ДПС у відповідності з завданням коефіцієнтом завантаження і максимальним ККД двигуна.

Розглянемо формування режиму керування двигуном постійного струму послідовного збудження по максимуму ККД на основних ділянках механічної характеристики  $M_*(\omega_*)$  та характеристик регулювання  $U_*(I_*)$ , наведених в [4, с. 147]. В інтервалі кутових швидкостей  $0 \leq \omega_* \leq \omega_{гін^*}$  на ділянці АВ в режимі пуску ДПС приймаємо наступні умови пуку:  $M_* = M_{п^*} = 2...3$ ;  $I_* = I_{п^*} = 2...3$ ;  $\beta_{оп} = 1$ . Характеристика регулювання прийме вид:

$$U_{min^*} = a\Phi_{п^*}\omega_{min^*} + bI_{п^*}; \quad (4.38)$$

$$\Phi_{п^*} = \Phi_{п^*}(I_{п^*}).$$

У (4.38)  $a = E_H / U_H = 0,95$ ;  $b = I_H R'_a / U_H = 0,05$  в інтервалі швидкостей  $\omega_{min^*} \leq \omega_* \leq 1$  на ділянці DC характеристики  $M_*(\omega_*)$  і  $U_*(I_*)$ . Умови регулювання:  $P_* = 1$ ;  $I_* = I_*(\omega_*)$ ;  $\beta_{оп} = 1$ ;  $\beta_m = const$ .

Характеристика регулювання має вигляд:

$$U_{опт^*}^2 = \beta_m \sqrt{\frac{a_4 + a_5 \beta_{опт^*}^2 + a_6}{a_2 \sqrt{\omega_*}}}; \quad (4.39)$$

$$\Phi_{опт^*} = U_{опт^*} / \omega_*; \quad I_{зб,опт^*} = U_{опт^*} / (K_\mu \cdot \omega_*).$$

В інтервалі скоростей  $1 \leq \omega_* \leq \omega_{г^*}$  на ділянці СС'  $\omega_{г^*}$  – гранична швидкість, до значення якої забезпечується раціональне економічне регулювання і припустимі потенційно-комутаційні умови при  $U_* > 1$ . При кратності швидкості  $K_\omega \geq 3$  значення  $\omega_{г^*}$  приймається рівним  $\omega_{г^*} = 2$ , а умови регулювання:  $P_* = 1$ ;  $I_* = I_*(\omega_*)$ ;  $\beta_{оп} = 1$ ;  $\beta_m = const$ .

Характеристика регулювання:

$$U_{опт^*}^2 = \beta_m \sqrt{\frac{a_4 + a_5 \beta_{опт^*}^2 + a_6}{a_2 \sqrt{\omega_*}}}; \quad (4.40)$$

$$\Phi_{опт^*} = U_{опт^*} / \omega_*; \quad I_{зб,опт^*} = U_{опт^*} / (K_\mu \cdot \omega_*).$$

В інтервалі швидкостей  $\omega_{г^*} \leq \omega_* \leq \omega_{max^*}$  на ділянці С'D характеристики  $M_*(\omega_*)$  умови регулювання:  $P_* = 1$ ;  $\beta_{оп} \geq 0,4$ ;  $\beta_m = const$ . Характеристик регулювання:

$$\Phi_* = \frac{U_{\max}^2 - B}{a - \omega_{\max} U_{\max}}; \quad (4.41)$$

$$U_* = U_{\max}$$

Режими керування, умови та характеристик керування для різних швидкісних режимів роботи ДПС послідовного збудження з умовою отримання максимального ККД наведені в табл. 4.15.

Таблиця 4.15

**Енергоощадні режими керування тяговим електродвигуном мотоблоку**

Інтервали кутових швидкостей	Умови регулювання	Характеристики регулювання	Режими керування
$0 \leq \omega_* \leq \omega_{\min}^*$	$M_{\Pi^*} = 2 \dots 3$ $I_{\Pi^*} = 2 \dots 3$ $\beta_{\text{оп}} = 1$	$U_{\min}^* = 0,95 \Phi_{\Pi^*} \omega_{\min}^* - 0,05 I_{\Pi^*}$ $\Phi_{\Pi^*} = \Phi_*(I_{\Pi^*})$	1
$\omega_{\min}^* \leq \omega_* \leq 1$	$P_{1^*} = 1$ $I_* = I_*(\omega_*)$ $\beta_{\text{оп}} = 1$ $\beta_m = \text{const}$	$U_{\text{опт}^*}^2 = \beta_m \sqrt{\frac{a_4 + a_5 \beta_{\text{опт}^*}^2 + a_6}{a_2 \sqrt{\omega_*}}}$ $\Phi_{\text{опт}^*} = U_{\text{опт}^*} / \omega_*$ $I_{36, \text{опт}^*} = U_{\text{опт}^*} / (K_\mu \cdot \omega_*)$	2
$1 \leq \omega_* \leq \omega_{1^*}$	$P_{1^*} = 1$ $I_* = I_*(\omega_*)$ $\beta_{\text{оп}} = 1$ $\beta_m = \text{const}$	$U_{\text{опт}^*}^2 = \beta_m \sqrt{\frac{a_4 + a_5 \beta_{\text{опт}^*}^2 + a_6}{a_2 \sqrt{\omega_*}}}$ $\Phi_{\text{опт}^*} = U_{\text{опт}^*} / \omega_*$ $I_{36, \text{опт}^*} = U_{\text{опт}^*} / (K_\mu \cdot \omega_*)$	3
$\omega_{1^*} \leq \omega_* \leq \omega_{\max}^*$	$P_{1^*} = 1$ $\beta_{\text{оп}} \geq 4$ $\beta_m = \text{const}$	$\Phi_* = \frac{U_{\max}^2 - B}{a - \omega_{\max} U_{\max}}$ $U_* = U_{\max}$	4

Джерело: узагальнено автором

Аналогічно з урахуванням специфіки систем збудження можуть бути сформовані режими керування по максимуму ККД ДПС незалежного та змішаного збудження.

Для полегшення розрахунків  $U_{\text{опт}^*}$  і  $\Phi_{\text{опт}^*}$  необхідно встановити зв'язок між коефіцієнтом насичення  $K_\mu$  та відносною кутовою швидкістю  $\omega_*$ , що досягається побудовою залежностей  $U_{\text{опт}^*}(\omega_*)$  і  $\Phi_{\text{опт}^*}(K_\mu)$  на основі сумісного розгляду залежностей  $K_\mu(I_{36}^*)$  і  $I_{36}^*(\omega_*)$ , побудованих на основі характеристик намагнічування і співвідношень (4.40) для відповідних значень  $K_\mu$

Для часткових тягових механічних характеристик  $P_{1^*} < 1$  при реалізації режиму керування ТЕД по максимуму ККД зміна напруги і коефіцієнту ослаблення магнітного поля визначаються за рівняннями:

$$U_{\text{опт.ч}^*} = U_{\text{опт}^*} \cdot \sqrt{P_{1^*}}; \quad (4.42)$$

$$\beta_{\text{оп.опт.ч}^*} = \beta_{\text{опт.ч}^*} \cdot P_{1^*}$$

Оптимальні характеристики регулювання (4.35) і (4.37) забезпечують керування ДПС за максимумом ККД і заданою величиною  $\beta_m$ . Важливим при цьому є наступна обставина. Згідно графіку ККД ДПС, значення максимального ККД не відрізняється критичністю, тобто при порівняно великій зоні зміни коефіцієнту завантаження  $\beta$ , ККД двигуна близький до значення  $\eta_{\max}$  при  $\beta_m = 0,7 \dots 0,9$ . Це істотно спрощує практичну реалізацію режимів керування ДПС з застосуванням простих за конструкцією вентильних перетворювачів у вигляді тиристорних регуляторів напруги.

Для з'ясування ефективності використання мотоблоків проведемо техніко-енергетичну оцінку технічного рівня найбільш поширених в Україні мотоблоків з двигунами внутрішнього згорання і тяговим електродвигуном (табл. 4.16).

Запропонована методика порівняльної техніко-енергетичної оцінки мотоблоків як промислового виробництва, так і розроблених і виготовлених власними силами в умовах господарства, заснована на визначенні інтегрального коефіцієнта ефективності обладнання з використанням ряду оціночних показників отриманих з паспортних даних обладнання [2, с. 94].

**Технічні характеристики мотоблоків**

Показник	М-3	Супер-610	МБ-1 (Луч)	МТЗ-0,5	Хонда F-600	Кубота Т720Е	Исеки KE280	Січ-Д	МБ-КЭП
Номінальна потужність двигуна, кВт	2,3	4,4	3,7	3,68	5,0	5,0	3,0	4,4	0,85
Питомі витрати палива, гр./кВт-год.)	394	448	365	448	490	460	400	495	–
Продуктивність, га/год.	0,15	0,22	0,2	0,26	0,25	0,23	0,13	0,18	0,23
Швидкість пересування, км/год.	3,3...11,1	1,42...6	2,5...10	2,15...9,5	2,5...15,0	2,9...14	2,5...5,6	5...10	1...7
Кількість передач вперед (назад)	2(0)	3(1)	2(2)	4(2)	6(2)	4(2)	2(1)	2(1)	5(2)
Габаритні розміри, мм									
довжина	1000	1650	1500	1800	1400	1754	1500	1860	1250
ширина	600	510	600	850	620	605	550	700	550
висота	1000	1420	1500	1070	880	1190	1100	500	940
Маса, кг	65	90	94	135	100	94	48	140	70

*Джерело: узагальнено автором*

Для техніко-енергетичної оцінки мотоблоків приймаємо наступні показники.

Питома продуктивність:

$$Q_{\text{Пит.}} = \frac{Q_{\text{б.}}}{P}, \quad (4.43)$$

де  $Q_{\text{б.}}$  – базова паспортна продуктивність, га/год.;

$P$  – встановлена потужність, кВт.

Питома металоемність:

$$M_{\text{Пит.}} = \frac{G}{Q_{\text{год.}}}, \quad (4.44)$$

де  $G$  – маса обладнання, ц;

$Q_{\text{год.}}$  – продуктивність обладнання, Га/год.

Питомі габаритні розміри:

$$\Gamma_{\text{Пит.}} = \frac{S}{Q_{\text{год.}}}, \quad (4.45)$$

де  $S$  – площа, яку займає обладнання, м<sup>2</sup>;

$Q_{\text{ч}}$  – продуктивність обладнання, Га/год.

Коефіцієнт, що враховує діапазон швидкостей мотоблоків:

$$D = \frac{V_{\text{max}}}{V_{\text{min}}}, \quad (4.46)$$

де  $V_{\text{max}}$  – максимальна швидкість мотоблока, м/с;

$V_{\text{min}}$  – мінімальна швидкість мотоблока, м/с.

Також для порівняльної техніко-енергетичної оцінки мотоблоків використовуємо такі показники, як відносну витрату палива ( $Q_{\text{пал.}}$ , кг/кВт-год.), продуктивність ( $Q$ , га/год.), кількість передач  $K_{\text{пер}}$ , які визначаються з технічних характеристик мотоблоків.

В якості критерію техніко-енергетичного рівня технологічного обладнання можливе використовувати інтегральний коефіцієнт, який визначається за формулою:

$$K_{\Sigma} = \sum_{i=1}^m \left( 2 \pm \frac{(\Pi_i - n) - \Pi_{\text{Мин.}}}{\Pi_i} \right), \quad (4.47)$$

де  $\Pi_i$  – значення  $i$ -го показника ряду, що розглядається;

$\Pi_{\text{Мин.}}$  – значення мінімального з  $m$  показників;

$n$  – величина, що характеризує найбільше відхилення показників ряду, визначається за рівнянням:

$$n = \frac{\Pi_{\text{Макс.}} - \Pi_{\text{Мин.}}}{m}, \quad (4.48)$$

де  $\Pi_{\text{Макс.}}$  – значення максимального показника ряду;

$m$  – загальна кількість показників, що використані для оцінки. В даній роботі приймається  $m = 7$ .

У виразі (4.47) перед дробом знак плюс відповідає показнику, що характеризує позитивний напрямок ряду (наприклад, для питомої продуктивності) і мінус – негативного (наприклад для питомої металоемності). Обладнання, що має більший інтегральний коефіцієнт є найбільш ефективним, сучасним і перспективним.

Розрахункові значення показників і інтегрального коефіцієнта порівнюваних мотоблоків визначаються аналогічно. Результати розрахунків техніко-енергетичних показників мотоблоків наведені в табл. 4.17.

Таблиця 4.17

Техніко-енергетичні показники мотоблоків

Тип мотоблоку	Показник							
	Q, га/ч.	Q <sub>Пит.</sub> , га/кВт-год.	Q <sub>Палив.</sub> , кг/кВт-год.	Д, в.о.	K <sub>пер.</sub>	Г <sub>Пит.</sub> , м <sup>2</sup> /га	M <sub>Пит.</sub> , ц/кВт	K <sub>Σ</sub>
М-3	0,15	0,06	0,394	3,36	2	4,0	0,28	4,03
Супер-610	0,22	0,05	0,448	4,22	4	3,85	0,20	3,77
МБ-1 (Луч)	0,20	0,054	0,365	4,0	4	4,5	0,25	4,01
МТЗ-0,5	0,26	0,07	0,448	4,42	6	5,88	0,37	2,75
Хонда F-600	0,25	0,05	0,490	6,0	8	3,47	0,20	3,5
Кубота T720E	0,23	0,046	0,460	4,8	6	4,61	0,15	0,6
Исеки Ke280	0,13	0,043	0,405	2,24	3	6,34	0,16	5,0
Січъ-Д	0,18	0,04	0,495	2,0	3	3,0	0,31	3,1
МБ-КЭП	0,25	0,27	–	7,0	7	2,98	0,87	6,9

Джерело: розрахунки автора

Отже, вибір раціональних режимів керування тяговими електродвигунами приводу мотоблоку слід проводити на основі критеріїв раціонально керування, що дозволяють забезпечити простими та надійними засобами реалізацію заданої тягової характеристик з високими техніко-енергетичними показниками. В роботі запропоновано алгоритм реалізації режимів керування тягового двигуна привода мотоблоку по максимуму ККД в заданому інтервалі швидкостей з використання керованих вентильних перетворювачів, що мають достатню просту конструкцію та високу надійність.

Згідно отриманих розрахункових даних, що наведені в таблиці 3, найбільше значення сумарного інтегрального коефіцієнту має електрифікований ґрунтообробний мотоблок ( $K_{\Sigma} = 6,9$ ), що свідчить про його достатню високу енергоефективність при виконанні основних агротехнічних операцій при обробці ґрунту.

#### 4.6. Ефективність використання індукційного нагріву в області металообробки

© Вегера І. І.

*к.т.н., доцент, завідувач лабораторією технологій і обладнання індукційного нагріву, Фізико-технічний інститут НАН Білорусі, м. Мінськ, Республіка Білорусь*

© Скавиш І. А.

*інженер-конструктор 2 кат., Фізико-технічний інститут НАН Білорусі, м. Мінськ, Республіка Білорусь*

© Цикунов П. Ю.

*м.н.с., Фізико-технічний інститут НАН Білорусі, м. Мінськ, Республіка Білорусь*

У даний час використання токів високої частоти (ТВЧ) в якості джерела тепла набуло широкого поширення в більшості областей металургійної галузі. Один з варіантів нагріву ТВЧ – індукційний нагрів – застосовується як на етапі отримання виливків (ливарне виробництво), так і в процесі формування готових виробів. Використання індукційних нагрівальних і плавильних установок дозволяє отримати продукцію високої якості при менших економічних і трудових витратах в порівнянні з застарілими аналогами виробництв [1; 4; 5]. Оцінку ефективності застосування індукційного нагріву роблять виходячи з його переваг, таких як: високий рівень технологічного інтегрування в існуючі виробничі лінії (модернізація), зменшення часу нагріву і плавки з високим виходом якісного продукту (зменшення кількості окалини і висока продуктивність) навіть з урахуванням вартості електрообладнання, можливість точного математичного моделювання технології на етапі конструювання виробничого циклу.

У ливарному виробництві можна виділити таку сферу застосування нагріву ТВЧ, як індукційні печі. Ще з часів СРСР на різних підприємствах досі експлуатуються подібні установки, як джерело

енергії використовують машинні або лампові генератори. Ефективність таких агрегатів дуже мала. Заміна з на тиристорний перетворювач дозволяє в рази підвищити ККД самої печі без особливих модифікацій робочої частини. Дана вакуумна піч характеризується надзвичайно широким діапазоном застосування в чорній і кольоровій металургії, в машинобудуванні та в інших галузях промисловості. Працює піч тільки для виробництва простих виливків, однак, її можна переобладнати для відцентрового лиття [2].

Сама піч характеризується високою швидкістю розплавлення. Вона, як правило, обслуговуються генераторами підвищеної потужності. Оптимальною умовою роботи печі слід вважати роботу, коли тривалість дегазації і плавлення однакові. Піч характеризується великою швидкістю лиття до 3 кг/хв і низьким тиском при плавці – близько 10 – 4 мм рт. ст.

Важливим питанням є швидка і безперервна заливка форми без переривання потоку зі швидкістю від 1 до 5 кг/с. В цьому випадку тигель не має зливного носка. Вісь обертання тигля розташовується в залежності від відношення діаметра до висоти тигля та, зазвичай, знаходиться посередині висоти тигля та при заливці форми зсувається всередину по відношенню до осі тигля.

Проблемою ж ливарної печі є збереження тепла формою. Попередньо підігріта форма повинна мати хорошу теплоізоляцію і завантажуватися в контейнер з гарячим вогнетривким матеріалом або ставитися в пристрій вакуумної індукційної печі, що підігріває.

У ливарній справі велику увагу приділяють чистоті тигля вакуумної індукційної печі. Печі після кожної плавки необхідно ретельно очищати, так як залишки металу в тиглі окислюються та забруднюють наступні плавки.

Основними перевагами даної печі перед піччю яка послужила її ідейним натхненником є:

1) можливість забезпечити безмасляне відкачування вакуумної установки. Для цього необхідно замінити паромасляний насос, що використовується у вакуумній установці, в якому в якості робочої рідини є масло, на дорожчий турбомолекулярний насос, який працює без масляного ущільнення. Це обумовлено вимогою скорочення часу на створення технологічного середовища для проведення процесу плавки, а також дозволяє значно зменшити об'єм парів масла в відкачуваному обсязі.

2) збільшення габаритних розмірів вакуумної камери для підвищення продуктивності. Таке поліпшення дозволяє без нарощування виробничих потужностей збільшити обсяг виплавленого матеріалу.

3) повна автоматизація технологічного процесу, що здійснюється на установці. Це дозволяє виключити з нього людський фактор.

Вакуумна частина установки здатна забезпечити у вакуумній камері робочий тиск 10 – 5 Па. Так, як вакуумна камера має досить великі розміри та в процесі технологічного процесу відбувається газовиділення ( $Q_g = 4 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3 \text{ Па/с}$ ), застосовується дві лінії відкачування – форвакуумного і високовакуумного.

Основним джерелом отримання економічної ефективності є збільшення продуктивності за рахунок зміни конструкції вакуумної індукційної установки та зниження витрат на сировину й матеріали шляхом переходу з газу на електроенергію (табл. 4.18).

Таблиця 4.18

**Порівняння виробничих витрат при модернізації вакуумної індукційної печі з базовим варіантом**

Номер статті	Статті витрат	Короткий позначення	Сума, Євро	
			Базовий варіант	проектований варіант
1	Сировина й матеріали	$V_{с.м}$	13580247	6790123
2	Основна заробітна плата	$ЗП_{осн}$	6222,222	6222,222
3	Додаткова заробітна плата	$ЗП_{доп}$	622,2222	414,8148
4	Загальновиробничі витрати	$V_{заг.вир.}$	32355,56	21570,37
5	Відрахування в бюджет і позабюджетні фонди з коштів на оплату праці	$V_{бюдж}$	3040,741	2241,975
6	Загальногосподарські витрати	$V_{госп}$	3111,111	2074,074
7	Інші витрати	$V_{інші}$	408767,9	204617,3
8	Інші податки	$П_{інші}$	987,6543	987,6543
Всього (повна виробнича собівартість)		$C_v$	34103511	14034367

*Джерело: узагальнено авторами за даними [2]*

Основний економічний ефект при заміні перетворювачів частоти досягається за рахунок економії енергоресурсів. Більшість технологій індукційної термообробки, в першу чергу гарт із застосуванням



індукційного нагріву, передбачає циклічний режим роботи перетворювача при постійному режимі роботи індукційного обладнання [2; 3]. Іншими словами, перетворювач працює в режимі “навантаження – холостий хід”, індукційне обладнання (верстат, лінія) працює в циклі “навантаження”. Наприклад, на рис. 1 показано зміну споживаної потужності при індукційному гартуванні деталей одночасним способом – окремо по гартівному верстаті без перетворювача та по перетворювачу. Перетворювач віддає корисну потужність тільки на етапі нагріву деталі під гартування, на інших стадіях технологічного циклу перетворювач працює на холостому ході та його потужність не є корисною (рис. 4.14).

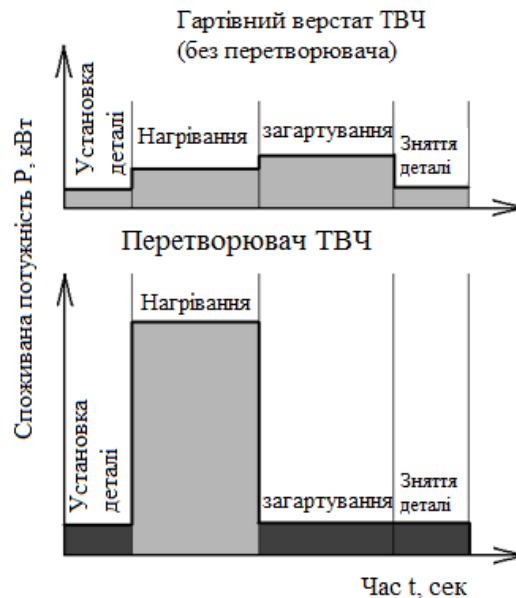


Рис. 4.14. Діаграма зміни споживаної потужності при одночасному загартуванні деталей  
 Джерело: авторська розробка

Оцінка доцільності заміни частотного перетворювача проводиться простим розрахунком витрат потужності для обох типів перетворювачів. Далі розглянемо кілька варіантів роботи установки ТВЧ в залежності від завантаження установки.

Варіант 1. Режим роботи установки ТВЧ – 2 зміни, потужність при загартуванні – 100 кВт, коефіцієнт завантаження установки ТВЧ – 0,85, час роботи перетворювача на х.х. – 10 %.

1. Кількість робочих годин роботи установки ТВЧ у році –  $253 \cdot 8 \cdot 2 = 4554$  год.,

де 253 – кількість робочих днів;

8 – тривалість робочої зміни, год.;

2 – кількість робочих змін.

2. Кількість годин роботи установки ТВЧ в році –  $4554 \cdot 0,85 = 3870,9$  год.:

де 0,85 – коефіцієнт завантаження установки ТВЧ.

3. Кількість годин роботи генератора:

під навантаженням –  $3870,9 \cdot 0,9 = 3483,8$  год.;

на холостому ході –  $3870,9 \cdot 0,1 = 387,1$  год.

4. Економія електроенергії при впровадженні тиристорного перетворювача замість машинного:

– по к.к.д.  $3483,8 \cdot 20 = 69676$  кВт,

де 20 кВт – різниця в кількості споживаної енергії за рахунок к.к.д. перетворення;

– за кількістю споживання на холостому ході –  $387,1 \cdot 40 = 15224$  кВт,

де 40 кВт – економія енергії за потужністю холостого ходу тиристорного перетворювача в порівнянні з машинним.

4.1. Економія від зниження споживання електроенергії за рік:

$69676 + 15224 = 84900$  кВт

або

$84900 \cdot 0,1002 = 8506,98$  євро,

де 0,1002 євро – вартість 1 кВт електроенергії на 30.04.18.

5. Економія електроенергії при впровадженні транзисторного перетворювача замість машинного:

– по к.к.д.  $3483,8 \cdot 20 = 69676$  кВт,

де 20 кВт – різниця в кількості споживаної енергії за рахунок к.к.д. перетворення;

– за кількістю споживання на холостому ходу –  $387,1 \cdot 42 = 16258,2$  кВт.,  
де 42 кВт – економія енергії за потужністю холостого ходу транзисторного перетворювача в порівнянні з машинним.

5.1. Економія від зниження споживання електроенергії за рік:

$$69676 + 16258,2 = 85934,2 \text{ кВт}$$

або

$$85934,2 \cdot 0,1002 = 8610 \text{ євро,}$$

де 0,1002 євро – вартість 1 кВт електроенергії на 30.04.18.

Варіант 2. Режим роботи установки ТВЧ – 2 зміни, потужність при загартуванні – 100 кВт, коефіцієнт завантаження установки ТВЧ – 0,85, час роботи перетворювача на х.х. – 40 %.

1. Кількість робочих годин роботи установки ТВЧ в році –  $253 \cdot 8 \cdot 2 = 4554$  год.,

де 253 – кількість робочих днів, дні;

8 – тривалість робочої зміни, год.;

2 – кількість робочих змін.

2. Кількість годин роботи установки ТВЧ у році –  $4554 \cdot 0,85 = 3870,9$  год.,

де 0,85 – коефіцієнт завантаження установки ТВЧ.

3. Кількість годин роботи генератора:

– під навантаженням –  $3870,9 \cdot 0,6 = 2322,5$  год.;

– на холостому ходу –  $3870,9 \cdot 0,4 = 1548,4$  год.

4. Економія електроенергії при впровадженні тиристорного перетворювача замість машинного:

– по к.к.д.  $2322,5 \cdot 20 = 46450$  кВт,

де 20 кВт – різниця в кількості споживаної електроенергії за рахунок к.к.д. перетворення;

– за кількістю споживання на холостому ходу –  $1548,4 \cdot 40 = 61934,4$  кВт,

де 40 кВт – економія електроенергії за потужністю холостого ходу тиристорного перетворювача в порівнянні з машинним.

4.1. Економія від зниження споживання електроенергії за рік:

$$46450 + 61934,4 = 108384,4 \text{ кВт}$$

або

$$108384,4 \cdot 0,1002 = 10860,12 \text{ євро.}$$

де 0,1002 євро – вартість 1 кВт електроенергії на 30.04.18.

5. Економія електроенергії при впровадженні транзисторного перетворювача замість машинного:

– по к.к.д.  $2322,5 \cdot 20 = 46450$  кВт,

де 20 кВт – різниця в кількості споживаної електроенергії за рахунок к.к.д. перетворення;

– за кількістю споживання на холостому ходу –  $1548,4 \cdot 42 = 65032,8$  кВт,

де 42 кВт – економія електроенергії за потужністю холостого ходу транзисторного перетворювача в порівнянні з машинним.

5.1. Економія від зниження споживання електроенергії за рік:

$$46450 + 65032,8 = 111482,8 \text{ кВт,}$$

або

$$111482,8 \cdot 0,1002 = 11170,58 \text{ євро,}$$

де 0,1002 євро – вартість 1 кВт електроенергії на 30.04.18.

За підсумком порівняння двох різних перетворювачів, економічний ефект на користь тиристорного становить майже 3000 євро в день.

У табл. 4.19 наведено економічний розрахунок ефективності заміни машинних перетворювачів ВПЛ-100/8000 на тиристорні ТПЧ-160М-0,5/125-8,0 для індукційних установок ТВЧ у термічному цеху РУП МАЗ в перерахунку на поточний рік.

Індукційний нагрів також добре зарекомендував себе в області термообробки і матеріалознавства. Якщо порівнювати процес гарту і нормалізації з використанням традиційного газового нагріву і швидкісний індукційний нагрів, останній має ряд переваг [3]. Так, при дослідженні режимів виробництва сталі 30Г2 встановлено, що швидкісний гарт (рис. 4.15, а) дозволяє досягти кращих показників властивостей, ніж нагрів у газовій печі (рис. 4.15, б). В результаті порівняння спостерігається підвищення вихідних характеристик труб на рівні 5 – 7 % на користь швидкісного нагріву. При цьому важливо відзначити, що зниження часу нагріву різко зменшує кількість окалини на заготовках. Це в свою чергу зменшить тривалість очистки та, в свою чергу, величину витрат на її проведення.

Таблиця 4.19

**Техніко-економічний розрахунок показників впровадження тиристорних перетворювачів частоти для установок ТВЧ**

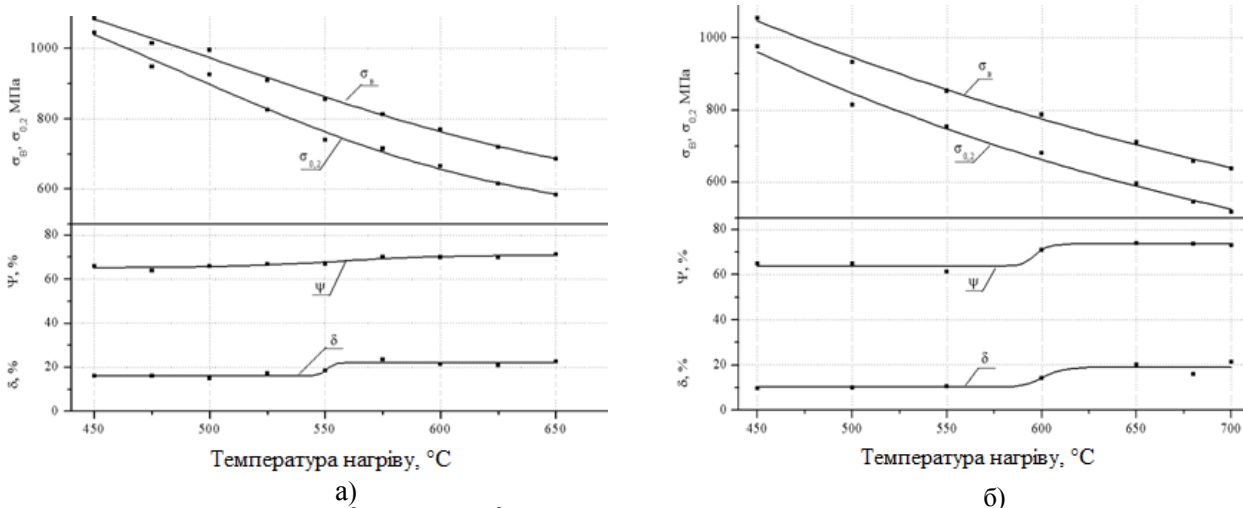
Найменування та номер деталі	Сателіт 5336/5551/5440- 2405035	Шестерня 5440-2405028	Хрестовина 5336-24030060
Час на технологічну наладку обладнання (за зміну)	1 год.	1 год.	0,5 год.
Час нагріву деталі на одній позиції	22 с	46 с	210 с
Час переміщення деталі на наступну позицію	20 с	26 с	90 с
Кількість деталей за зміну	400 од.	150 од.	85 од.
Час роботи перетворювача за зміну під навантаженням (час нагрівання деталі кількість деталей)	$22 \text{ с} \cdot 400 = 8800 \text{ с} = 2,44 \text{ год.} \approx 3 \text{ год.}$	$46 \text{ с} \cdot 150 = 6900 \text{ с} = 1,92 \text{ год.} \approx 2 \text{ год.}$	$210 \text{ с} \cdot 85 = 17850 \text{ с} = 4,96 \text{ год.} \approx 5 \text{ год.}$
Час роботи перетворювача за зміну без навантаження (холостий хід)	$8 - 3 = 5 \text{ год.}$	$8 - 2 = 6 \text{ год.}$	$8 - 5 = 3 \text{ год.}$
Економія при роботі під навантаженням по к.к.д. за зміну (за рахунок заміни машинного перетворювача на тиристорний)	$20 \text{ кВт} \cdot 3 \text{ год.} = 60 \text{ кВт-год.}$	$20 \text{ кВт} \cdot 2 \text{ год.} = 40 \text{ кВт-год.}$	$20 \text{ кВт} \cdot 5 \text{ год.} = 100 \text{ кВт-год.}$
Економія холостого ходу за зміну (за рахунок заміни машинного перетворювача на тиристорний)	$40 \text{ кВт} \cdot 5 \text{ год.} = 200 \text{ кВт-год.}$	$40 \text{ кВт} \cdot 6 \text{ год.} = 240 \text{ кВт-год.}$	$40 \text{ кВт} \cdot 3 \text{ год.} = 120 \text{ кВт-год.}$
Сумарна економія під навантаженням і на холостому ходу	260 кВт-год.	280 кВт-год.	220 кВт-год.
змінність роботи	3	2	2
Економія за добу (за рахунок заміни машинного перетворювача на тиристорний)	$260 \text{ кВт-год} \cdot 3 = 780 \text{ кВт-год.}$	$280 \text{ кВт-год} \cdot 2 = 560 \text{ кВт-год.}$	$220 \text{ кВт-год} \cdot 2 = 440 \text{ кВт-год.}$
Кількість робочих днів за рік	253 дні		
Економія за рік (за рахунок заміни машинного перетворювача на тиристорний)	$780 \cdot 253 = 197,34 \text{ тис. кВт-год.}$	$560 \cdot 253 = 141,68 \text{ тис. кВт-год.}$	$440 \cdot 253 = 111,32 \text{ тис. кВт-год.}$
Вартість на 30.04.18 р. (без ПДВ)	0,1002 євро	0,1002 євро	0,1002 євро
Економія генератора за рік (за рахунок заміни машинного перетворювача на тиристорний)	$197,34 \cdot 0,1002 = 19,77 \text{ тис. євро}$	$141,68 \cdot 0,1002 = 14,2 \text{ тис. євро}$	$111,32 \cdot 0,1002 = 11,15 \text{ тис. євро}$
Коефіцієнт завантаження: перетворювача установки	0,31 0,71	0,24 0,5	0,63 0,94
Термін окупності тиристорного перетворювача (по економії електроенергії)	1,5 роки	2 роки	2,5 роки

*Джерело: розрахунки авторів*

Більше того, зменшення швидкості нагріву збільшує продуктивність всієї лінії виробництва, тому що найбільш тривалим етапом термообробки є нагрів під гартування (при інших рівних умовах). У той час, як тривалість газового нагріву становить близько 5 – 20 хв для труб різної товщини, швидкісний індукційний нагрів дозволяє загартувати деталь за секунди.

Для термообробки, наприклад, сталі AISI 304 необхідні високотемпературні печі, а іноді і вакуумні або печі з захисною атмосферою. Для їх виготовлення актуальним є питання застосування швидкісних методів нагріву. Однак їх застосування для цілого ряду матеріалів обмежене. Це пов'язано, перш за все, з браком даних про фазові, структурні перетворення та про зміну властивостей матеріалів у залежності від швидкості, температури нагріву та умов охолодження. У зв'язку з цим були проведені дослідження впливу швидкісного нагріву на структуру та властивості сталі AISI 304 після холодної деформації (рис. 4.16).

Очевидно, що використання швидкісного нагріву для високолегованих сталей дозволяє досягти меншого зниження властивостей при нагріванні на 10 – 15 %, що позитивно позначається на кінцевих властивості заготовок.



а)  
Швидкісний нагрів  $900^{\circ}\text{C}$  ( $V_n = 50^{\circ}\text{C/c}$ ),  
ох. вода, випуск 2 год., ох. повітря

б)  
Нагрів  $850^{\circ}\text{C}$ , 1 ч, ох. вода,  
випуск 2 год., ох. повітря

Рис. 4.15. Механічні властивості сталі 32Г2 після швидкісного і газового нагріву і випуску

Джерело: авторська розробка

Для оцінки ефективності індукційного нагріву в порівнянні з газовим добре підходить ковальське виробництво при виробництві сільськогосподарської техніки. Технологія отримання поковок несучих осей сільгоспмашин на даному підприємстві має такі відмінні риси: високі енерговитрати та низька якість, як структури металу, так і геометрії заготовки. Це пов'язано з тим, що застосовується серійне застаріле ковальсько-пресове обладнання, яке погано пристосоване для виконання таких операцій. Фахівцями Фізико-технічного інституту НАН Білорусі розроблена і запропонована нова технологія формоутворення заготовок осей сільськогосподарської техніки. Сутність даної технології полягає в локальному індукційному нагріванні заготовки та формоутворень методом 3-х валкового розкочування керованими роликми при повній автоматизації процесу на всіх стадіях.

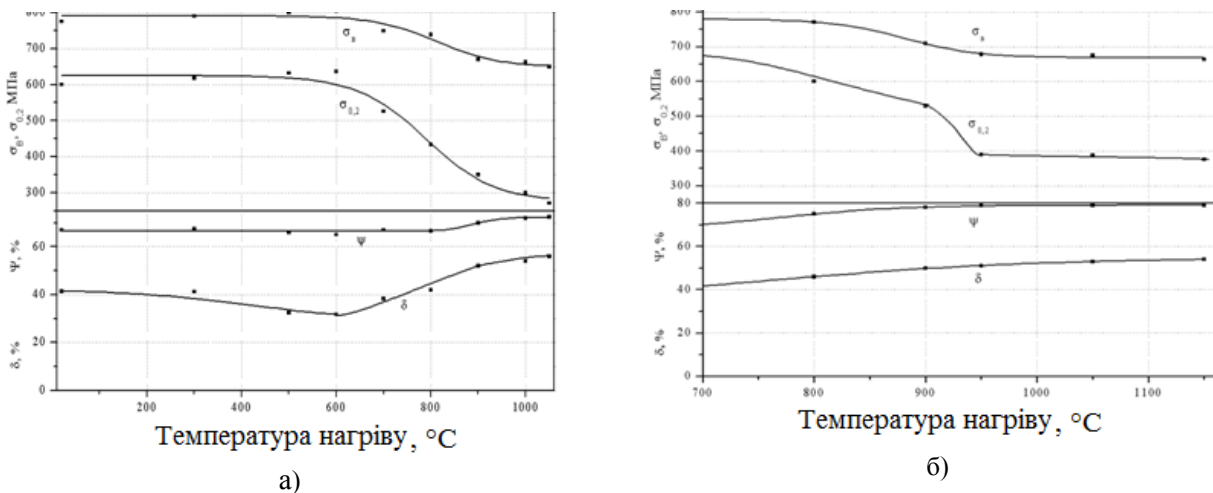


Рис. 4.16. Механічні властивості сталі AISI 304 після  
підного а) і швидкісного індукційного нагріву б),  $V_n = 50^{\circ}\text{C/c}$

Джерело: авторська розробка

Розрахунки показують, що в розрахунку на 1 кг металу, що нагрівається вартість нагріву в газовій печі становить 0,33 євро, а при індукційному нагріванні – 0,27502 євро. При цьому нагрів заготовок в індукторі, в порівнянні з пічним нагрівом, до інтервалу робочих температур становить кілька хвилин.

На рис. 4.17 показаний узагальнений графік споживання енергії при нагріванні ковальських заготовок в газовій печі та індукторі ТВЧ. Даний графік був отриманий в ході аналізу діаграм споживання газу та електроенергії на одному з промислових підприємств при 2-х змінному режимі роботи ковальсько-пресового обладнання, що працює з пічного і індукційного нагріву.

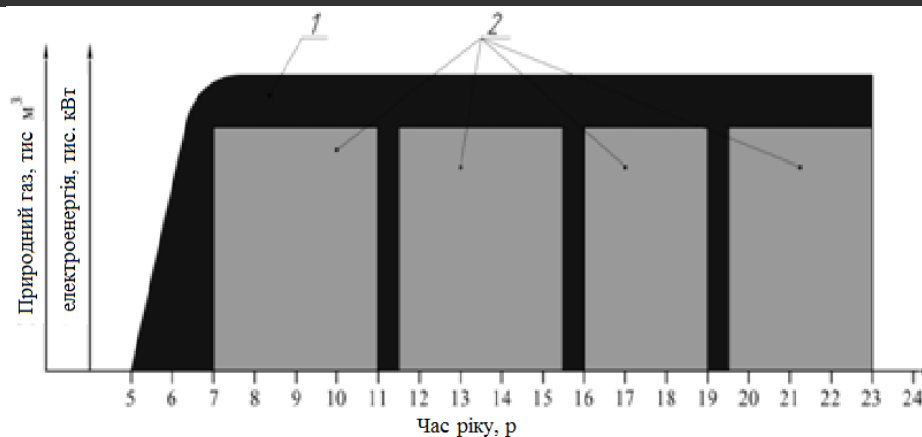


Рис. 4.17. Добовий графік споживання енергії нагрівального обладнання в ковальському виробництві: 1 газова піч (природний газ, тис. м<sup>3</sup>), 2 – індукційний нагрівач (електроенергія, тис. кВт)

Джерело: авторська розробка

Додатковий ефект від зростання продуктивності та зниження витрат ресурсів на обробку надає тип обраного індуктора. Для розрахунку режимів обробки валків використовувалися два типи індукторів: з рівномірною обмоткою (постійний крок витка індуктора) і нерівномірною. Вирішувалася задача порівняння характеристик роботи цих двох індукторів з метою вибору оптимального розподілу температурного поля вздовж нагрітого кінця трубної заготовки, так як від рівномірності нагріву надалі залежать параметри і якість розкочування. Результати представлені в табл. 4.20.

Таблиця 4.20

**Енергетичні параметри індукційних нагрівачів**

Параметри	Індуктор 1	Індуктор 2
Повна енергія	5,3 кВт-год.	3,36 кВт-год.
Енергія в завантаженні	4,35 кВт-год.	2,65 кВт-год.
Втрати в індуктори	0,929 кВт-год.	0,697 кВт-год.
Втрати на випромінювання і конвекцію	0,569 кВт-год.	0,171 кВт-год.
Електричний ККД	0,822	0,786
Термічний ККД	0,869	0,935
Повний ККД	0,714	0,735

Джерело: авторська розробка

Очевидно, що індуктор 2 з нерівномірним кроком обмотки більш енергетично ефективний, ніж перший з рівномірним кроком. Це обумовлено самою конструкцією, що дозволяє за рахунок нерівномірного кроку, спеціально розрахованого під це завдання, перерозподілити енергію від центру нагрівання зони до її країв і уникнути перепаду температур по довжині.

Використання індукційного нагріву при пайці сталевих деталей також дозволяє досягти високого якісного та економічного ефекту. Були проведені дослідження на предмет ефективного застосування індукторів при пайці, виконано моделювання щодо визначення оптимального режиму пайки розширювального бачка і штуцера циліндричної форми. В якості припою використовувався композит мідь-цинк-титан. Використання даної композиції в сукупності з індукційним нагріванням дозволяє забезпечити необхідне розтікання припою, можливість змочування поверхонь, що з'єднуються припоєм. Більше того, виникають при індукційному нагріванні магнітодинамічні сили, що перемішують компоненти припою, що дозволяє отримати твердий розплав після охолодження з високими характеристиками міцності.

Пайку штуцера і бачка проводили за допомогою одновиткового індуктора при робочій частоті 66 кГц, струм індуктора становить 1800 А, повітряний зазор між витком індуктора та поверхнею штуцера знаходився в межі 4 – 5 мм. При даних параметрах установки час нагрівання становить 18,5 с, споживана потужність  $E_n = 0,0369$  кВт-год., втрати на випромінювання і конвекцію 0,000824 кВт-год. Економічний ефект від впровадження представлений в табл. 4.21.

Слід зазначити, що варіантів модернізації існує досить багато. Вище описані варіанти модернізації виробничих ліній дозволяють не тільки підвищити якість продукції, що випускається, але і підвищити обсяг випуску. Зокрема, заміна газового обладнання на індукційне дозволяє знизити кількість робочого та обслуговуючого персоналу, зайнятих в обслуговуванні модернізованої лінії.

**Економічний ефект від впровадження тиристорного перетворювача частоти для пайки**

Показники	Ламповий генератор	ПТТ 45/0,066
Час виходу на робочий режим, хв	10 – 30	0
Витрати енергії на підтримку робочого режиму, кВт	10	0
Час пайки одного штуцера і бачка, с	120	18,6
Продуктивність з урахуванням завантаження/ розвантаження (20 с), од/год.	22,5	61,43
Енерговитрати на пайку одного бачка і штуцера, кВт-год.	1,189	0,0934
Енерговитрати на пайку 100 бачків, кВт-год.	32,76	3,66

*Джерело: розрахунки авторів*

При цьому, такого роду модернізація не вимагає істотних витрат на перенавчання, тому що загальні принципи роботи всієї лінії майже не зміняться. Вивільнений персонал можна задіяти на інших виробничих ділянках, де потрібні додаткові ресурси.

#### **4.7. Інтенсифікація теплообмінних процесів акустичним методом**

© **Гльїн С. В.**

*к.т.н., доцент кафедри теплоенергетики та гідроенергетики, завідувач лабораторії  
енергоефективних технологій, Запорізька державна інженерна академія, м. Запоріжжя, Україна*

У сучасних умовах в Україні питання енергоефективності набуває особливого значення як для держави в цілому, так і для підприємств усіх галузей народного господарства. Цінова політика на ринку енергоресурсів спонукає підприємства ощадливо використовувати енергоресурси, впроваджувати енергоефективні технології, що дозволить зменшувати енергоємність продукції, не знижуючи її якості.

Теплообмінні апарати – найбільш поширені пристрої в усіх видах і типах енергетичних установок. Теплообмінні апарати знайшли широке застосування в багатьох областях енергетичної, господарської, авіаційно-космічної, хімічної, в системах опалення, гарячого водопостачання, кондиціонування. Тому теплообмінник повинен забезпечувати найбільш високі параметри теплообміну.

У даний час існує два основних напрямки інтенсифікації теплообміну через стінку: розвиток поверхні теплообміну і збільшення термодинамічних характеристик теплоносія.

Одним з перспективних способів інтенсифікації теплообміну може стати використання ультразвуку [1, с. 36]. Вплив високочастотних коливань на теплоносій призводить до активації мікрострумів в середовищі і забезпечує інтенсивне перемішування в пристінному шарі. Ультразвук дозволяє скоротити товщину ламінарного підшару або повністю виключити його виникнення [2, с. 7].

Інтенсифікація теплообміну за допомогою ультразвуку дозволяє вирішити наступні завдання [3, с. 43]:

- збільшити теплові навантаження, що відводяться, при заданих тисках та швидкостях;
- зменшити габарити і металоємність теплообмінника;
- зменшити час охолодження елементів різних пристроїв;
- перешкоджати створенню з'єднань кальцію на поверхні теплообміну, що дозволить суттєво знизити експлуатаційні витрати.

Отже, виникла необхідність в проведенні експерименту по дослідженню впливу ультразвуку на охолодження розігрітої пластини в масляному середовищі.

Метою даного експерименту було дослідити як ультразвук впливає на швидкість теплообмінних процесів на границі “тверде тіло – рідке середовище”.

На рис. 4.18 представлена схема експериментальної установки для дослідження впливу ультразвуку на охолодження розігрітої пластини в масляному середовищі.

Суть експерименту полягає в наступному: латунну пластинку 4 розігрівають за допомогою сухого спирту. Далі розігріту пластинку занурюють в бак 2 з трансформаторним маслом 3 з температурою 18°C. Вимірюється температура до якої пластинка охолоне за період часу  $\tau$ . Температура пластинки  $t$  вимірюється за допомогою термометра 5. Експеримент повторюється при опроміненні масляного середовища ультразвуком, який забезпечує ультразвуковий випромінювач 1. Експеримент повторюється при зміні температури нагріву пластинки від 50 °C до 150 °C з кроком 50 °C і часу охолодження від 15 с до 60 с з кроком 15 с.

Для дослідів використовується трансформаторне масло Т-1500.

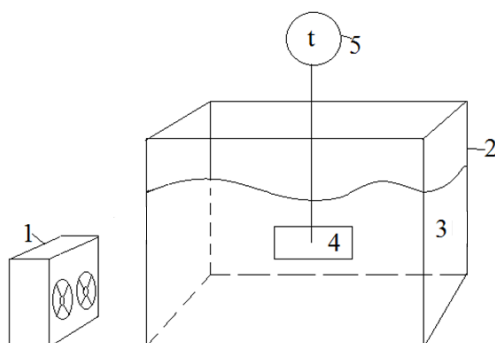


Рис. 4.18. Схема експериментальної установки для дослідження впливу ультразвуку на охолодження розігрітої пластини в масляному середовищі:  
1 – ультразвуковий випромінювач, 2 – бак, 3 – трансформаторне масло, 4 – латунна пластина, 5 – термопара  
Джерело: авторська розробка

У якості джерела ультразвукових коливань використовується ультразвуковий електронний випромінювач, який генерує ультразвук за допомогою двох п'єзовипромінювачів.

У якості приладу для виміру температури використовується хромель-алюмівеву термопару (ТХА).

У табл. 4.22 представлено результати експерименту за період часу охолодження 15 с.

Таблиця 4.22

**Результати експерименту за період часу 15 с**

Температура нагріву пластини, °С	Температура пластини після охолодження (без ультразвуку), °С	Температура пластини після охолодження (з ультразвуком), °С
50	26	23
75	27	25
100	29	27
125	31	29
150	34	31

Джерело: розрахунки автора

Результати експерименту за період часу 15 с представлено графічно на рис. 4.19.

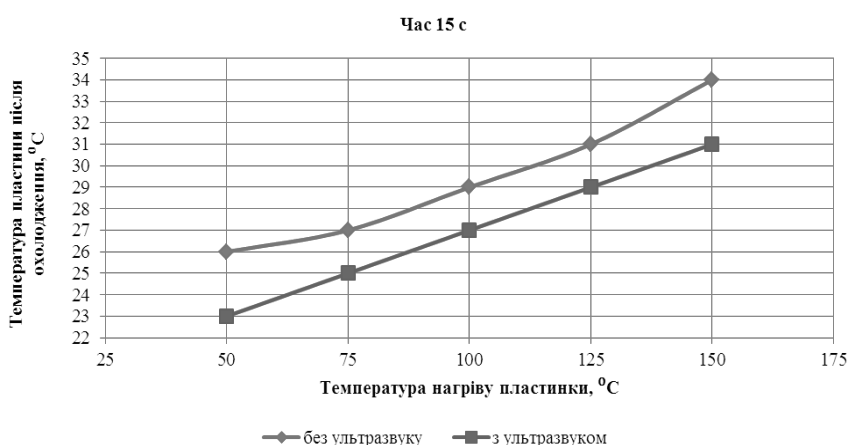


Рис. 4.19. Графік залежності температури охолодження пластини від температури нагріву пластинки за період часу 15 с

Джерело: розрахунки автора

Аналогічним чином проведено експериментальні дослідження в різних часових періодах. На рис. 4.20 представлено залежність температури пластини після охолодження від початкової температури пластини за період часу 30 с, на рис. 4.21 – за 45 с, на рис. 4.22 – за 60 с.

При опроміненні масляного середовища ультразвуком температура пластинки після охолодження нижча, ніж без використання ультразвуку. При температурі нагріву пластинки вище 100 °С і короткому періоді охолодження пластини різниця стає більш значною.

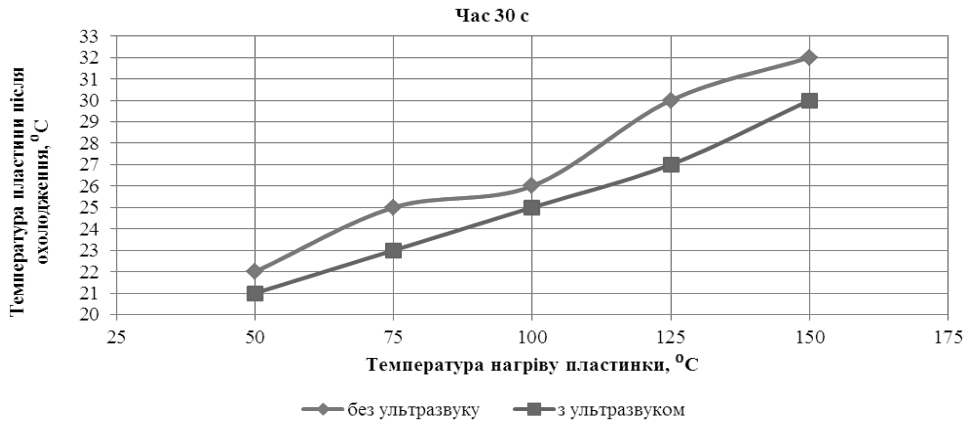


Рис. 4.20. Графік залежності температури охолодження пластины від температури нагріву пластины за період часу 30 с

*Джерело: розрахунки автора*

Для дослідження впливу ультразвукових коливань на швидкість теплообмінних процесів на границі “тверде тіло – рідке середовище” необхідно розрахувати темп охолодження і коефіцієнт тепловіддачі.

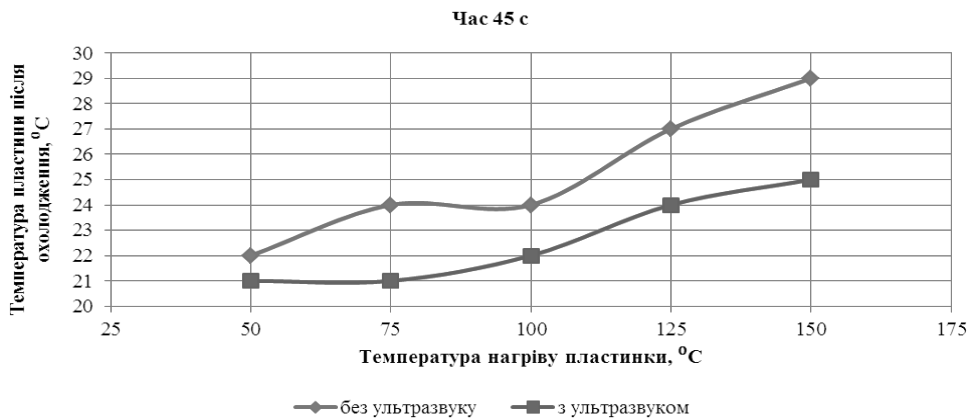


Рис. 4.21. Графік залежності температури охолодження пластины від температури нагріву пластины за період часу 45 с

*Джерело: розрахунки автора*

Процес охолодження тіла в середовищі з постійною температурою  $t_c$  і постійним коефіцієнтом тепловіддачі  $\alpha$  можна розділити на три режими [4, с. 56]:

- неупорядкований – на процес впливає початковий розподіл температури в тілі;
- регулярний – в будь-якій точці тіла відносна швидкість зміни температури, яка називається темпом охолодження (нагрівання), залишається постійною і не залежить від часу;
- стаціонарний – температура  $u$  в всіх точках тіла дорівнює температурі середовища (теплова рівновага).

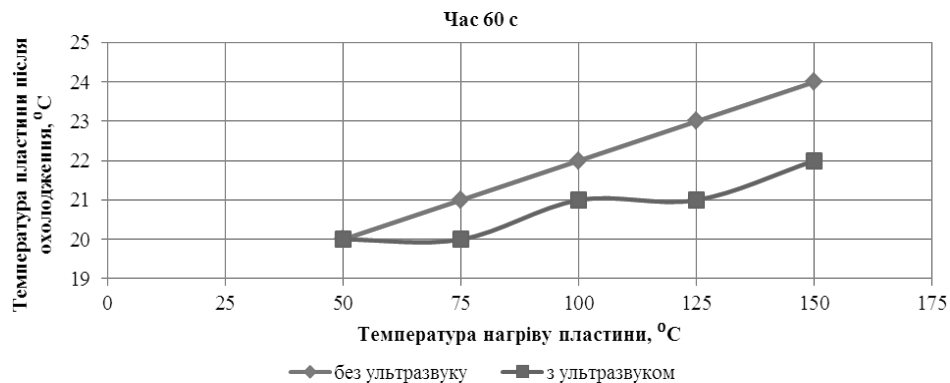


Рис. 4.22. Графік залежності температури охолодження пластины від температури нагріву пластины за період часу 60 с

*Джерело: розрахунки автора*



У регулярному режимі темп охолодження (нагрівання),  $m$ ,  $c^{-1}$ , який визначається для двох моментів часу  $\tau_1$  і  $\tau_2$  [5, с. 94]:

$$m = \frac{\ln \vartheta_1 - \ln \vartheta_2}{\tau_2 - \tau_1} = \text{const}, \quad (4.49)$$

де  $\vartheta_1 = t_1 - t_c$  і  $\vartheta_2 = t_2 - t_c$  – надлишкові температури в будь-якій точці тіла в моменти часу  $\tau_1$  і  $\tau_2$ .

Темп охолодження  $m$  залежить від фізичних властивостей тіла, його розмірів і форми, коефіцієнта тепловіддачі і не залежить від часу і координат.

Перша теорема Г. М. Кондратьєва для регулярного режиму виражається формулою [6, с. 940]:

$$m = \Psi \frac{\alpha \cdot F}{\rho \cdot c \cdot V} = \text{const}, \quad (4.50)$$

де  $\Psi$  – коефіцієнт нерівномірності розподілу температури в тілі, який для термічно тонких тіл дорівнює 1 [7, с. 1195];

$\rho$  – густина тіла,  $kg/m^3$ , що для латуні дорівнює  $8400 kg/m^3$ ;

$c$  – питома теплоємність тіла,  $kJ/(m^2 \cdot K)$  що для латуні дорівнює  $0,38 kJ/(m^2 \cdot K)$ ;

$F$  – площа поверхні тіла,  $m^2$ , що для пластини знаходиться за формулою:

$$F = a \cdot b, \quad (4.51)$$

де  $a$  – ширина пластини,  $m$ , що дорівнює  $0,015 m$ ;

$b$  – висота пластини,  $m$ , що дорівнює  $0,04 m$ ;

$V$  – об'єм тіла,  $m^3$ , що для пластини знаходиться за формулою:

$$V = F \cdot \delta, \quad (4.52)$$

де  $\delta$  – товщина пластини,  $m$ , що дорівнює  $0,001 m$ .

З формули (4.50) можна знайти коефіцієнт тепловіддачі  $\alpha$ ,  $Wt/(m^2 \cdot K)$ , що показано в формулі:

$$\alpha = \frac{m \cdot \rho \cdot c \cdot V}{\Psi \cdot F}. \quad (4.53)$$

За формулою (4.51) знайдено площу пластини,  $m^2$ :

$$F = 0,015 \cdot 0,04 = 0,006.$$

За формулою (4.52) знайдено об'єм пластини,  $m^3$ :

$$V = 0,006 \cdot 0,001 = 0,000006 = 0,6 \cdot 10^{-6}.$$

За формулою (4.49) розраховано темп охолодження  $m$ , який визначено для двох моментів часу 1 с і 15 с при температурі нагріву пластини  $50^\circ C$  і без використання ультразвуку, роблячи припущення, що в першу секунду охолодження температура не змінюється  $c^{-1}$ :

$$m = \frac{\ln(50 - 18) - \ln(26 - 18)}{15 - 1} = 0,099.$$

За формулою (4.53) знайдено коефіцієнт тепловіддачі,  $Wt/(m^2 \cdot K)$ :

$$\alpha = \frac{0,099 \cdot 8400 \cdot 0,38 \cdot 10^3 \cdot 0,6 \cdot 10^{-6}}{1 \cdot 0,006} = 316,1.$$

Результати розрахунку темпу охолодження і коефіцієнту тепловіддачі для періоду часу 15 с представлено в табл. 4.23 та на рис. 4.23.

Таблиця 4.23

Розрахунок темпу охолодження і коефіцієнту тепловіддачі для періоду часу 15 с

Температура нагріву пластини, $^\circ C$	Темп охолодження (без ультразвуку), $c^{-1}$	Темп охолодження (з ультразвуком), $c^{-1}$	Коефіцієнт тепловіддачі (без ультразвуку), $Wt/(m^2 \cdot K)$	Коефіцієнт тепловіддачі (з ультразвуком), $Wt/(m^2 \cdot K)$	Абсолютне відхилення (+, -)	Відносне відхилення, %
50	0,099	0,133	316,1	423,2	107,2	33,9
75	0,132	0,150	420,8	478,1	57,3	13,6
100	0,143	0,158	458,0	503,8	45,8	10,0
125	0,151	0,162	480,6	518,7	38,1	7,9
150	0,151	0,166	481,1	528,5	47,3	9,8

Джерело: розрахунки автора

Коефіцієнт тепловіддачі при опроміненні масляного середовища ультразвуком вище, ніж без використання ультразвуку. Коефіцієнт тепловіддачі при використанні ультразвуку найбільше виріс порівняно з коефіцієнтом тепловіддачі без використання ультразвуку при початковій температурі нагріву пластини 50 °С – на 33,9 %.

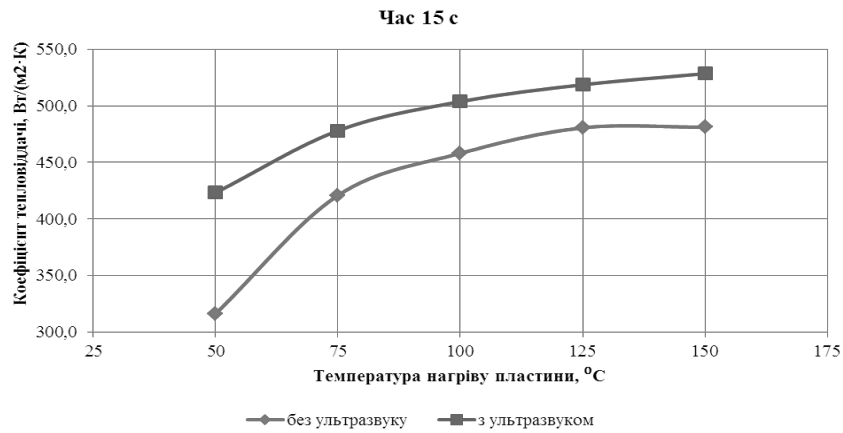


Рис. 4.23. Графік залежності коефіцієнту тепловіддачі від температури нагріву пластинки для періоду часу 15 с

*Джерело: розрахунки автора*

При температурі нагріву пластини 125 °С і вище коефіцієнт тепловіддачі без використанні ультразвуку майже не змінюється, тоді як коефіцієнт тепловіддачі при використанні ультразвуку продовжує зростати.

Аналогічні розрахунки виконано для періоду часу 30, 45 та 60 секунд. Результати представлено в таблицях 4.24 – 4.26.

Таблиця 4.24

**Розрахунок темпу охолодження і коефіцієнту тепловіддачі для періоду часу 30 с**

Температура нагріву пластини, °С	Темп охолодження (без ультразвуку), с <sup>-1</sup>	Темп охолодження (з ультразвуком), с <sup>-1</sup>	Коефіцієнт тепловіддачі (без ультразвуку), Вт/(м <sup>2</sup> · К)	Коефіцієнт тепловіддачі (з ультразвуком), Вт/(м <sup>2</sup> · К)	Абсолютне відхилення (+; -)	Відносне відхилення, %
50	0,072	0,082	228,9	260,5	31,7	13,8
75	0,072	0,084	230,8	267,9	37,0	16,0
100	0,080	0,085	256,2	270,9	14,7	5,7
125	0,075	0,085	240,8	272,5	31,7	13,1
150	0,077	0,083	247,0	263,9	17,0	6,9

*Джерело: розрахунки автора*

Отже, найбільший коефіцієнт тепловіддачі при використанні ультразвуку, 528,5 Вт/(м<sup>2</sup> · К), було досягнуто при температурі нагріву пластини 150 °С і періоді охолодження 15 с.

Таблиця 4.25

**Розрахунок темпу охолодження і коефіцієнту тепловіддачі для періоду часу 45 с**

Температура нагріву пластини, °С	Темп охолодження (без ультразвуку), с <sup>-1</sup>	Темп охолодження (з ультразвуком), с <sup>-1</sup>	Коефіцієнт тепловіддачі (без ультразвуку), Вт/(м <sup>2</sup> · К)	Коефіцієнт тепловіддачі (з ультразвуком), Вт/(м <sup>2</sup> · К)	Абсолютне відхилення (+; -)	Відносне відхилення, %
50	0,047	0,054	150,9	171,7	20,9	13,8
75	0,051	0,067	163,3	213,6	50,3	30,8
100	0,059	0,069	189,7	219,1	29,4	15,5
125	0,056	0,065	179,6	209,0	29,4	16,4
150	0,056	0,067	180,3	213,1	32,8	18,2

*Джерело: розрахунки автора*

Таблиця 4.26

Розрахунок темпу охолодження і коефіцієнту тепловіддачі для періоду часу 60 с

Температура нагріву пластини, °С	Темп охолодження (без ультразвуку), с <sup>-1</sup>	Темп охолодження (з ультразвуком), с <sup>-1</sup>	Коефіцієнт тепловіддачі (без ультразвуку), Вт/(м <sup>2</sup> ·К)	Коефіцієнт тепловіддачі (з ультразвуком), Вт/(м <sup>2</sup> ·К)	Абсолютне відхилення (+; -)	Відносне відхилення, %
50	0,047	0,047	150,0	150,0	0,0	0,0
75	0,050	0,057	159,3	181,2	21,9	13,8
100	0,051	0,056	163,4	179,0	15,6	9,5
125	0,052	0,061	165,7	193,4	27,6	16,7
150	0,052	0,059	167,2	189,2	21,9	13,1

Джерело: розрахунки автора

Коефіцієнт тепловіддачі при використанні ультразвуку найбільше виріс порівняно з коефіцієнт тепловіддачі без використанні ультразвуку при початковій температурі нагріву пластини 50 °С і періоді охолодження 15 с – на 33,9 %. Найбільш ефективним є використання ультразвуку для охолодження при невисоких температурах нагріву і коротких періодах охолодження.

#### 4.8. Удосконалення енергоощадних технологій виготовлення алюмінієвих сплавів

© Скуйбіда О. Л.

к.т.н., доцент, доцент кафедри охорони праці і навколишнього середовища,  
Запорізький національний технічний університет, Запоріжжя, Україна

Алюміній є одним з найбільш затребуваних, перспективних та екологічних металів. За обсягами використання він поступається лише сталі. Легка вага, опір корозії, висока електропровідність, теплопровідність, міцність і пластичність виробів з алюмінієвих сплавів пояснюють їх широке застосування в електротехнічній промисловості.

На сьогоднішній день близько 13 % всього виробленого в світі алюмінію використовується в енергетиці. Алюмінієва проводка успішно конкурує з традиційною мідною, маючи втричі нижчу ціну та високий рівень властивостей. Алюміній використовують для виготовлення кабелів повітряних ліній електропередачі, силових ізольованих кабелів зв'язку, установочних проводів, обмотувального дроту. В сегменті передачі та розподілу електроенергії неізольовані алюмінієві проводи з композитними сердечниками є лідерами, оскільки характеризуються низьким коефіцієнтом температурного лінійного розширення та можливістю передати великі обсяги електроенергії. Обмотка силових трансформаторів I-IV категорій (розподільчих підстанцій) в 85 % випадків виготовляється з алюмінію. Сплави на основі алюмінію використовують у виробництві алюмінієві сплави також широко застосовуються у виробництві конденсаторів.

Алюміній затребуваний і при виготовленні енергозберігаючих світлодіодних джерел світла (підкладка з монокристала оксиду алюмінію та функціональні елементи світильника). Серед інноваційних напрямків – створення алюміній-іонного акумулятора. Припускають, що алюміній-іонний акумулятор витіснить двигун внутрішнього згоряння з автомобілебудування і призведе до значних змін в споживанні і накопиченні електроенергії з поновлюваних джерел. Заміна мідної проводки алюмінієвою в автомобілях дає економію в 40 % і дозволяє знизити масу автомобіля в середньому на 12 кг. До того ж, заміна 1 кг сталі одним кілограмом алюмінію в конструкції легкового автомобіля зменшує викиди CO<sub>2</sub> на 20 кг та витрати бензину до 5 ... 8 л на кожні 200 тис. км пробігу.

Алюміній збільшує доступність сонячної енергії. Наприклад, дах великого офісного центру “The Arcade” в будівлі Всесвітнього торгового центру MVIRDC (Мумбаї) повністю зайнятий алюмінієвими сонячними батареями [1, с. 26]. Всього встановлено 808 сонячних панелей на площі 2323 м<sup>2</sup> Максимальна потужність комплексу – 250 кВт. Сонячні батареї забезпечують приблизно 30 % річної енергетичної потреби офісного центру.

Американська компанія “Natscore” замінює срібло в фотоелектричних системах на алюміній, що дозволить скоротити витрати без зміни кількості виробленої енергії [2]. Сонячний парк Сан-Карлос на Філіппінах (San Carlos Solar Energy) з потужністю 22 МВт базується на алюмінієвих модульних поверхнях та сонячних модулях від німецьких компаній-гігантів з виробництва продукції для сонячних систем Mounting Systems та Conergy [3, с. 1 – 3]. Алюмінієві кріплення, що використовуються в конструкції сонячних батарей, підвищують їх продуктивність. Дослідження, проведене фахівцями Імперського коледжу (Лондон) показало, що алюмінієві панелі дозволяють виробити на 22 % більше електрики. Крім того, алюмінієві кріплення на поверхні панелей допомагають акумулювати світло всередині поглинаючого шару. Коли світло проходить через золоті або срібні шпильки, воно поглинається; якщо використовується алюміній, то світло відбивається, і розсіюється по панелі.

Популярність та розповсюдженість монтажних рам і систем кріплення, панелей для сонячних колекторів гарячої води, сонячних котлів та іншої продукції, що працює від поновлюваних джерел енергії багато в чому залежить від застосування алюмінію. Алюміній традиційно використовують для виготовлення лопатей для вітроенергетичних установок.

Проте сам процес отримання алюмінію з руди є енерго- та ресурсоемним. Тому алюмінієві заводи розташовані в регіонах з порівняно дешевою енергією: Північній Америці (близько 20 % від світового виробництва алюмінію), Китаї – 19 %, Західній Європі – 16 %, Азії – 8 %, Південній Африці – 8 %, Східній Європі – 2 %. Виробництво 1 т первинного алюмінію потребує від 13000 до 15000 кВт·год електроенергії. За даними International Aluminium Institute світове виробництво первинного алюмінію в 2017 р. склало 27 млн. т. В Європі середньорічне споживання алюмінію на душу населення складає 22,5 кг. В 2017 р. в світі було спожито 85 млн. т алюмінію.

В зв'язку з потребами в значній кількості енергії для виготовлення первинного алюмінію компанії використовують альтернативні джерела енергії. Так, російський РУСАЛ зменшує вуглецеві викиди за рахунок використання гідроенергії. Ключові виробничі потужності РУСАЛу знаходяться в Сибіру поблизу потужних гідроелектростанцій (ГЕС). До 2025 р. компанія планує закупати для алюмінієвих заводів не менше 95 % електроенергії від ГЕС та інших альтернативних джерел.

Шведська вітроенергетична компанія Eolus Vind уклала угоду на поставку електроенергії від норвезького виробника алюмінію Alcoa Norway строком на 15 років [4]. В рамках договору Alcoa буде купувати електроенергію, яка буде вироблятися у розташованій в Норвегії вітряної ферми Eolus з встановленою потужністю 330 МВт. Alcoa використовуватиме придбану електроенергію для енергопостачання алюмінієвого заводу. Eolus планує ввести вітрову електростанцію в дію в 2021 р., а розрахункове вироблення електроенергії складає 1,2 ТВт·год/рік. В той же час норвезька компанія Norsk Hydro, один з найбільших світових виробників алюмінію, уклала довгостроковий контракт на купівлю електроенергії у вітроенергетичної компанією Markbygden [5]. Договір передбачає поставку 1,65 ТВт·год/рік електроенергії на період з 2021 по 2039 рр.

Індійська державна алюмінієва компанія National Aluminium Company (Nalco) також вирішила звернутися до поновлюваних джерел енергії, щоб задовольнити свої зростаючі потреби в енергії. На даний час Nalco виробляє понад 100 мВт електроенергії від двох вітроелектростанцій. Також Nalco має програму будівництва сонячної електростанції потужністю 20 мВт у провінції Мадхья-Прадеш (Індія) та встановлення сонячних батарей потужністю 50 кВт у дослідницькому та технологічному центрі Nalco в Бхубанешварі [6].

Однак окрім високої енергоемності, первинне виробництво алюмінію має і інші недоліки: забруднення повітряного середовища, руйнування озонового шару, вичерпування корисних копалин, накопичення відходів, шкідливі умови праці виробничого персоналу та професійні захворювання. Наприклад, при отриманні алюмінію з бокситів утворюється “червоний шлам”, що складається з окису заліза, двоокису титану, двоокису кремнію та інших небезпечних речовин. Виробництво 1 т алюмінію супроводжується генерацією від 360 до 800 кг шламу. В світі вже накопичено сотні мільйонів тон шламу, який не підлягає переробці [7, с. 18]. Отримання алюмінію з руди характеризується виділенням таких шкідливих і небезпечних для людини та довкілля речовин як  $AlF_3$ ,  $CaF_2$ ,  $C_{20}H_{12}$ ,  $HF$ ,  $LiF$ ,  $CO$ ,  $CF_4$ ,  $C_2F_6$ ,  $SO_2$ ,  $NaF$ ,  $CO_2$ ,  $NO_2$ ,  $N_2O$ ,  $CH_4$ ,  $C_{18}H_{12}$ ,  $Al_2O_3$ ,  $Na_3AlF_6$  тощо, приблизно третина з яких відноситься до першого класу небезпеки. Це – канцерогенні, токсичні та отруйні речовини. Рівень професійної захворюваності робітників алюмінієвої промисловості складає в середньому 43,8 випадків на 10000 осіб, що майже в три рази вище, ніж в сталеливарному виробництві [8], а умови роботи відносяться в переважній більшості до 3-го класу. Емісії шкідливих речовин призводять до парникового ефекту, руйнування озонового шару, смогу та інших негативних ефектів.

Позбутися зазначених недоліків первинного виробництва алюмінію дозволяє рециклінг лому та промислових і побутових відходів. Близько 75 % алюмінію, випущеного за час існування галузі, використовується і досі. Переробку алюмінію можна здійснювати практично нескінченно. Для рециклінгу необхідно 5 ... 25 % енергії, яка затрачується на виробництво первинного алюмінію, а ціна продукції зменшується на 25 ... 50 %. Виробництво 1 т алюмінію з лому та відходів дозволяє зберегти близько 4 т бокситів та 700 кг кам'яновугільного коксу. Викиди парникових газів при цьому складають 5 % від викидів при електролізному виробництві.

Світовими лідерами рециклінгу алюмінію є США, Японія, Китай, Канада, Німеччина, Франція, Італія та Великобританія. Виробництво вторинного алюмінію в світі складає 30 % від загального випуску, в країнах ЄС цей показник досягає 50 % (близько 5 млн. т первинного алюмінію та 5 млн. т вторинного металу). Близько третини виготовленого металу споживає транспорт. Алюмінієві диски забезпечують плавність ходу та покращене тепловідведення від гальмівної системи. У випадку аварії гасіння удару ефективніше здійснює алюміній, ніж сталь. В 1994 р. відбувся дебют автомобілю Audi A8 з повністю алюмінієвим кузовом. Пізніше до експериментів з алюмінієм залучилися такі

автомобільні гіганти як BMW, Mercedes-Benz, Porsche. Електромобіль Tesla вже на 70 % складається з алюмінію, а 10 % – ве зниженні маси автомобіля збільшує енергоефективність на 8 %. Автомобіль Ford-150 завдяки використанню алюмінію став легше за свого попередника на 315 кг, що дозволило значно знизити витрати пального, вихлоп CO<sub>2</sub>, збільшити вантажопідйомність і покращити динаміку транспортного засобу. Головка блоку, блок циліндрів, кришка підшипників серійних автомобілів Ford виготовляються із вторинних алюмінієвих сплавів. Ведуться дослідження щодо заміни мідної проводки в автомобілях Ford, Reno, Nissan та інших на алюмінієву. Автоконцерн Jaguar Land Rover спільно з корпорацією Novelis реалізують проект REALCAR (Recycled Aluminium Car) з використання сплаву RC5754, який містить до 75 % вторинного алюмінію [9, с. 15 – 18].

Отже, в кінці життєвого циклу автомобілю практично весь алюміній можна застосувати для виготовлення нової продукції.

Алюміній та кольорові метали – найдорожчі відходи в купі сміття. Потреба в сортування і переробці алюмінієвих відходів пов'язана з вартістю самого металу, необхідністю забезпечення сталого розвитку та проблемами екологічної безпеки. При складуванні алюмінієвий брухт поступово окислюється і виділяє в повітря водень – вибухонебезпечний хімічний реагент.

Алюмінієва банка – найбільш перероблювана в світі тара. Вона використовується, переробляється та знову з'являється на полиці магазину впродовж 60 днів. Слід зазначити, що 1 кг переплавлених алюмінієвих банок дозволяє зберегти 8 кг бокситу, 4 кг різних фторидів і 14 кВт-год. електроенергії. Норвезька корпорація Norsk Hydro на заводі Neuss (Німеччина) запустила лінію з рециклінгу до 50 тис. т/рік вживаних алюмінієвих банок. Європейський ринок щорічно споживає більше 30 млрд. банок або 450 тис. т алюмінію. Світове споживання знаходиться на рівні 220 млрд. банок. З використаних алюмінієвих банок можна також отримувати водень. Науковий колектив MISC спільно з колегами з Інституту високих температур РАН запропонував використовувати відходи алюмінію в альтернативній зеленій енергетиці як реагенту для виробництва водню-екологічно чистого та енергоємного палива [10]. В реакції алюмінію з водою виділяється вільний водень, який потім можна спалювати або окисляти з отриманням електрики. Хімічна енергія, що зберігається в кожній банці об'ємом 0,33 л (маса алюмінію складає 15 г) становить 255 кДж. У перерахунку на бензин 255 кДж енергії еквівалентно 20 м пробігу автомобіля з витратою бензину 5 л на 100 км. Водень, що отримується окисленням відходів металевого алюмінію може бути використаний як паливо в портативних джерелах електроживлення, в транспортних системах і установках малої стаціонарної енергетики.

Основною проблемою рециклінгу алюмінію при виготовленні продукції є понижена в порівнянні з первинними аналогами якість сплавів. Це питання особливо актуальне для України, промисловість якої потребує алюмінію. В країні відсутні діючі алюмінієві заводи, тому алюміній держава здебільшого імпортує. Основні поставки імпортованих сплавів з алюмінію здійснюються з Швейцарії, Норвегії, Польщі та Німеччини. Для енергетичної та сировинної незалежності і безпеки переробка лому і відходів алюмінію набуває особливого значення.

Головним недоліком вторинних сплавів на основі алюмінію є нижча за первинні якість. Питаннями підвищення механічних та експлуатаційних властивостей алюмінієвих сплавів, отриманих з лому та відходів, займалися такі українські та іноземні вчені як M. Bertram, K. Martchek, John A. S. Lreen, W. Wahnsiedler, M. Otte, L. Valentini, P. Lu, Б. М. Неменок, І. П. Волчок, В. В. Гіржон, В. З. Куцова, О. А. Мітяєв, С. В. Пригунов тощо. Досвід учених різних країн свідчить про значні потенційні можливості покращення якості алюмінієвих сплавів, виготовлених із вторинної сировини, та розширення сфер їх застосування. На сьогоднішній день в літературі запропоновано низку способів підвищення механічних та експлуатаційних властивостей алюмінієвих сплавів – вакуумування, ультразвукову обробку, фільтрацію, використання електричного струму тощо, проте вони потребують купівлі висококоштовного обладнання та роблять процес рециклінгу економічно не вигідним.

Найбільш перспективним напрямком зменшення енергоємності виробництва алюмінієвих сплавів є винесення частини технологічних операцій із робочого простору печі за допомогою використання рафінування та модифікування [11, с. 171 – 174]. Модифікування є технологічною операцією, якій належить провідна роль в управлінні процесами структуроутворення при обробці розплаву. Проте відомі склади як правило впливають на окремі структурні складові сплавів, тому виникає необхідність в розробці композицій, які б комплексно впливали на всі елементи структури алюмінієвих сплавів. Як показує міжнародний досвід перспективним для збільшення механічних і службових властивостей вторинних алюмінієвих сплавів є використання дрібнодисперсних порошоків [12, с. 54 – 56; 13, с. 166; 14, с. 265]. Відмінності в структурі первинних та вторинних алюмінієвих сплавів викликають необхідність коригування стандартних режимів термічної обробки та врахування присутності великої кількості шкідливих домішок.

У проведених дослідженнях використовували алюмінієві сплави марок АК5М2, АК6М2, АК8М3 і АК9М2 на основі вторинної сировини (лому та відходів виробництва). За хімічним складом матеріали відповідали вимогам ДСТУ 2839-94. Для того, щоб в максимально можливій мірі виключити зміну хімічного складу в процесі плавлення використовували наступний метод. Плавлення кожного сплаву здійснювали на вторинній шихті, отриманій з однієї і тієї ж плавки в печі ЕНВ 5000 ємністю 5,5 т. Далі шихту розділяли на необхідну кількість фракцій. Лабораторні плавки проводили в електричній печі опору СНЗ-3 з використанням чавунного тигелю ємністю 5 кг. Плавлення та нагрівання металу до температури  $720 \pm 10^\circ\text{C}$  здійснювали під стандартним флюсом. Після розплавлення та нагрівання сплаву АК8М3 до температури  $720 \pm 10^\circ\text{C}$  в нього вводили порошок заліза.

Для подальшого покращення якості алюмінієвих сплавів, отриманих рециклінгом лому та відходів, розроблено флюс складу 25 ... 30 % NaCl; 3 ... 10 % S; 2 ... 5 % KBF<sub>4</sub>; 1,5 ... 5 % Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>; 1,5 ... 5 % SrCO<sub>3</sub>; 0,5 ... 2 % Ti; 0,5 ... 0,8 % SiC; 0,2 ... 0,5 % C; решта AlF<sub>3</sub>, на який отримано патент України № 44463. Даний флюс у кількості 1 мас. % ефективно захищав метал (вторинний сплав АК6М3) від окислення, вилучав оксиди та гідриди, а також сприяв подрібненню структури. Незважаючи на позитивний вплив флюсового рафінування необхідний рівень механічних властивостей при цьому забезпечити не вдалося, тому виникла необхідність в подальшому модифікуванні сплавів.

За результатами досліджень, проведених на вторинному сплаві АК5М2, було підібрано компоненти модифікатора, склад якого захищено патентом України № 42653: 10 ... 20 % Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, 15 ... 20 % SrCO<sub>3</sub>, 12 ... 20 % SiC, 3 ... 8 % Ti, 0,5 ... 2 % C, решта S. Модифікатор вводили в рідкий метал за допомогою пристосування, відомого як "дзвоник", після вилучення стандартного флюсу. Встановлено, що модифікування даним комплексом у кількості 0,1 мас. % викликає зменшення розміру макрозерна, підвищення однорідності розподілу, подрібнення та отримання більш сприятливої морфології структурних складових алюмінієвих сплавів, виготовлених з лому та відходів виробництва. Двоступенева обробка розробленими флюсом і модифікатором забезпечила покращення механічних властивостей вторинного сплаву АК9М2: твердості в середньому на 36 %, границі міцності – на 35 % та відносного видовження – на 50 %, а також зменшення газової пористості на 2 ... 3 бали в порівнянні з вихідним необробленим станом.

Термічна обробка є обов'язковим етапом в технології виготовлення доевтектичних силумінів – ливарних сплавів системи Al-Si. Термічній обробці піддають як первинні, так і вторинні сплави. Український стандарт ДСТУ 2839-94 допускає використання широкого діапазону часу витримки при термічній обробці, збільшення якого потребує значних енергетичних затрат. З іншого боку необхідно враховувати особливості сплавів, виготовлених з алюмінієвого лому та відходів, їх забрудненість домішковими елементами та сполуками на основі останніх.

Найбільш розповсюдженою та небажаною домішкою вторинних алюмінієвих сплавів є залізо, що присутнє в структурі у складі інтерметалідних фаз. Без відповідної обробки інтерметаліди на основі заліза мають порівняно великі розміри, несприятливу морфологію та відіграють роль концентраторів напруження, ініціюючи процес зародження та розвитку тріщин. Для того, щоб визначити оптимальні режими термічної обробки для вторинних алюмінієвих сплавів з підвищеним вмістом заліза здійснювали дослідження відповідно до рототабельного плану багатофакторного експерименту другого порядку 2<sup>3</sup>. Як незалежні змінні приймали вміст заліза в сплаві Fe, час витримки під гартування  $\tau_r$  та час витримки при старінні  $\tau_{ст}$ . За результатами вимірювання твердості, міцності та пластичності сплавів після обробок за матрицею планування експерименту було отримано рівняння регресії механічних властивостей силуміну АК8М3 в залежності від вмісту заліза та часу витримки при гартуванні і старінні. Мікроструктуру металу після термічної обробки за змінними часовими параметрами та з різною концентрацією заліза подано на рис. 4.24.

У сплавах з низьким вмістом заліза характерні для гартування та старіння процеси зміни структури відбувалися швидше, що може бути пов'язано з легшим проходженням дифузії в матеріалі. Результати експерименту показали, що в залежності від режиму термічної обробки інтерметаліди на основі заліза можуть рівномірно розташовуватись за перетином шліфа або концентруватись в окремих мікрооб'ємах, а також набувати різної форми, тобто одні варіанти термічної обробки є сприятливішими за інші в залежності від концентрації заліза в сплаві.

За допомогою методу регресійного аналізу результатів випробування механічних властивостей отримали систему рівнянь другого порядку:

$$HV_{(AL)} = 1015,9 + 58,479F_e + 77,4337\tau_r - 71,638\tau_{ст} + 8,375F_e \cdot \tau_r + 3,125F_e \cdot \tau_{ст} + 12,625\tau_r \cdot \tau_{ст} - 18,979F_e^2 - 6,779\tau_r^2 + 5,422\tau_{ст}^2; \quad (4.54)$$

$$HB = 140,477 - 3,811F_e + 3,997\tau_r + 3,997\tau_{ст} + 0,813F_e \cdot \tau_r + 2,313F_e \cdot \tau_{ст} + 0,188\tau_r \cdot \tau_{ст} - 13,915F_e^2 - 3,66\tau_r^2 - 5,428\tau_{ст}^2; \quad (4.55)$$

$$\delta = 271,154 - 2,427F_e + 18,652\tau_r + 10,305\tau_{ct} + 2,201F_e \cdot \tau_r + 6,62F_e \cdot \tau_{ct} + 1,949\tau_r \cdot \tau_{ct} - 16,437F_e^2 - 18,294\tau_r^2 - 9,559\tau_{ct}^2; \quad (4.56)$$

$$\Delta = 1,562 - 0,169F_e + 0,035\tau_r + 0,09\tau_{ct} + 0,014F_e \cdot \tau_r + 0,016F_e \cdot \tau_{ct} + 0,004\tau_r \cdot \tau_{ct} - 0,064F_e^2 - 0,069\tau_r^2 - 0,053\tau_{ct}^2; \quad (4.57)$$

$$KC = 0,32 - 0,05F_e + 0,016\tau_r + 0,026\tau_{ct} + 0,002F_e^2 - 0,005\tau_r^2 - 0,009\tau_{ct}^2. \quad (4.58)$$

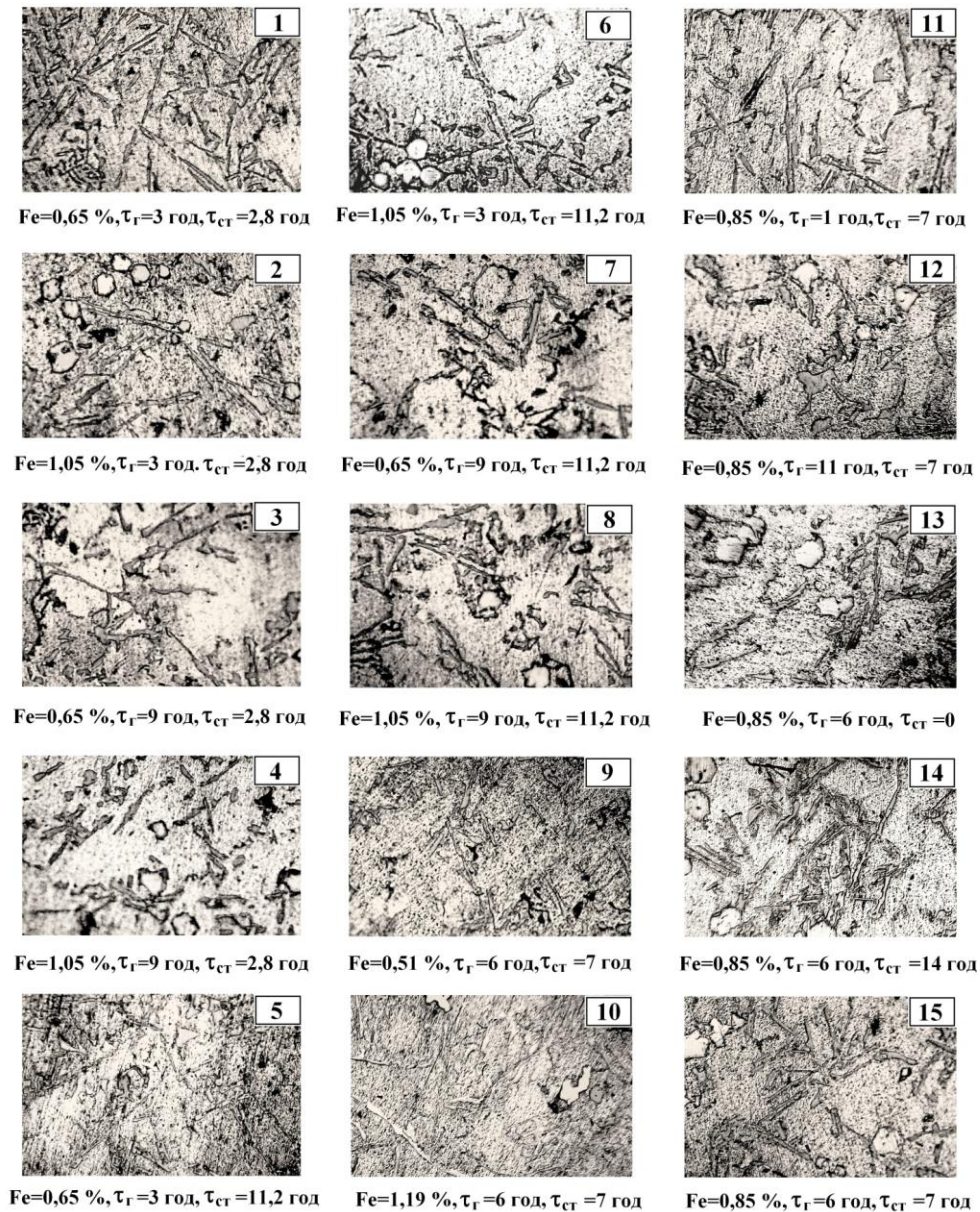


Рис. 4.24. Мікроструктура зразків вторинного сплаву АК8МЗ відповідно до матриці планування експерименту (x200):

1 ... 8 – план матриці 23; 9, 10 – зіркові точки; 11 ... 15 – точки центра плану (нульовий рівень варіювання)

Згідно з одержаними залежностями, для силумінів із вмістом до 0,5 мас. % Fe доцільно використовувати стандартні часові параметри гартування, тоді як при вищій концентрації заліза необхідно збільшувати час витримки при гартуванні до 8 год. ( $F_e = 1,2$  мас. %). Сплави, що містять 0,5 мас. % заліза, доцільно піддавати старінню із часом витримки протягом 7 год. На кожні 0,1 мас. % Fe при його концентрації в сплаві більше 0,5 мас. % необхідно додатково передбачити 0,5 год. часу витримки при старінні.

Термічна обробка з урахуванням концентрації шкідливих домішок є перспективним напрямком в удосконаленні технологій виготовлення вторинних алюмінієвих сплавів та зниженні їх енергоємності. Результати апробації та впровадження експериментальної технології рециклінгу возврату алюмінієвих сплавів у виробничих умовах АТ “Мотор Січ” (м. Запоріжжя) показали високу ресурсо- та енергоефективність. Впровадження розробленої технології дозволило збільшити обсяги використання вторинної сировини та знизити собівартість виготовленої продукції, що відповідає засадам сталого розвитку та енергетичної стратегії України.

**4.9. Оцінка біоенергетичного потенціалу регіонів України (на прикладі Полтавської області)**

© Писаренко П. В.

*д.с.г.н., професор, член-кореспондент інженерної Академії України, професор кафедри землеробства і агрохімії ім. В. І. Сазанова, Полтавська державна аграрна академія, м. Полтава, Україна*

© Самойлік М. С.

*д.е.н., професор, завідувач кафедри екології, збалансованого природокористування та захисту довкілля, Полтавська державна аграрна академія, м. Полтава, Україна*

Необхідність економії природних ресурсів в умовах глобальних змін клімату і загострення екологічних проблем стає найважливішою умовою екологізації природокористування. Концепція екологічно збалансованого (стійкого) розвитку ґрунтується на збільшенні використання відновлювальних джерел енергії, серед яких біоенергетика відіграє все більш значну роль.

Використання біоенергетичного потенціалу у багатьох країнах здійснюється на основі Кіотського протоколу, згідно якого промислово-розвинуті країни і країни з перехідною економікою до 2020 р. повинні зменшити загальні викиди парникових газів не менше ніж на 10 % у порівнянні з 1990 р. У країнах ЄС, США, Бразилії, Китаї, Японії все ширше, поряд із енергією сонця, води, вітру, використовується біопаливо. Із біомаси у світі щорічно отримують близько 2 млрд. т палива, що складає близько 14 % загального споживання первинних енергоносіїв [1]. В Україні частина біомаси в енергопостачанні становить близько 0,5 %. У той же час, збільшення використання біопалива у регіонах України здатне диверсифікувати виробництво енергії, сприяти ресурсозбереженню, утилізації відходів і значному зменшенню викидів парникових газів у атмосферу. Це потребує оцінки біоенергетичного потенціалу регіонів України та вивчення регіональних особливостей його використання.

Концепція збалансованого розвитку регіонів ґрунтується перш за все на збільшенні використання відновлювальних джерел енергії, серед яких біоенергетика відіграє все більш значну роль. Використання біомаси в Україні здійснюється в основному при термічній конверсії дров і деревних відходів та біотехнічній конверсії відходів сільського господарства, осадів каналізаційних очисних систем, ТПВ (твердих побутових відходів). Доцільність же розвитку біоенергетики у Полтавській області обумовлена її геополітичним положенням, природними і соціально-економічними умовами. Основні біоенергетичні ресурси регіону – деревні відходи лісного господарства, целюлозно-паперової і меблевої промисловості, органічні відходи сільського господарства, ТПВ тощо. Їх раціональне використання дозволить вирішувати не тільки енергетичні, але також екологічні та соціальні проблеми регіону.

Загальна площа земель лісового фонду Полтавської області становить 275,8 тис. га, в тому числі вкриті лісовою рослинністю землі – 244,3 тис. га, середня лісистість території становить 8,7 %. Середній запас деревини становить 42,68 млн. м<sup>3</sup>. Площа вирубки лісу у 2016 р. склала 8983 га. Утворення деревних відходів у 2016 р. склало 12,1 тис. м<sup>3</sup>, що на 51 % більше у порівнянні з 2000 р. [2]. Середня лісистість території становить 8,7 %, в окремих районах вона варіює від 1,47 до 21,1 %. Найбільш покриті лісами райони: Котелевський – 21,1 %, Гадяцький – 17,2 %, Шишацький – 15,8 %. Найменш покриті лісами райони: Машівський – 1,47 %, Глобинський – 1,9 %, Семенівський – 2,2 %. Переважають такі деревні породи, як дуб – 83 тис. га (34 %), сосна – 73,5 тис. га (30,1 %), вільха – 21,5 тис. га (8,8 %). Згідно з класифікацією ліси Полтавської області відносяться до першої групи як ліси, що мають природоохоронне і рекреаційне значення з особливим режимом введення сільського господарства.

Деревна біомаса як паливо розділяється на декілька груп відповідно до її походження: спеціально заготовлювана в лісі паливна деревина, відходи лісозаготівель, відходи деревообробки, відходи целюлозно-паперової промисловості, міська деревина. Деревна тріска може бути отримана з дерев, зрубаних при проріджуванні молодих насаджень і при вирубці догляду в старих насадженнях, з відходів лісозаготівлі (вершини, суччя, гілки). До групи відходів деревообробки входять деревні відходи, що утворюються при промисловій обробці деревини (обрізки, кора, тирса, стружки і тому подібне).

Енергія, накопичена в процесі фотосинтезу, для однорідних по властивостям фракцій лісної біомаси, розраховувалася як добуток об'єму деревної маси, її щільності та нижчої теплоти згорання вологого палива за методикою, запропонованою шведським стандартом SS 187182. Загальний енергетичний потенціал лісового господарства Полтавської області складає 19383578 МВт. У порівнянні з іншими регіонами України, Полтавська область має середній рівень енергетичного потенціалу лісового господарства (рис. 4.25).



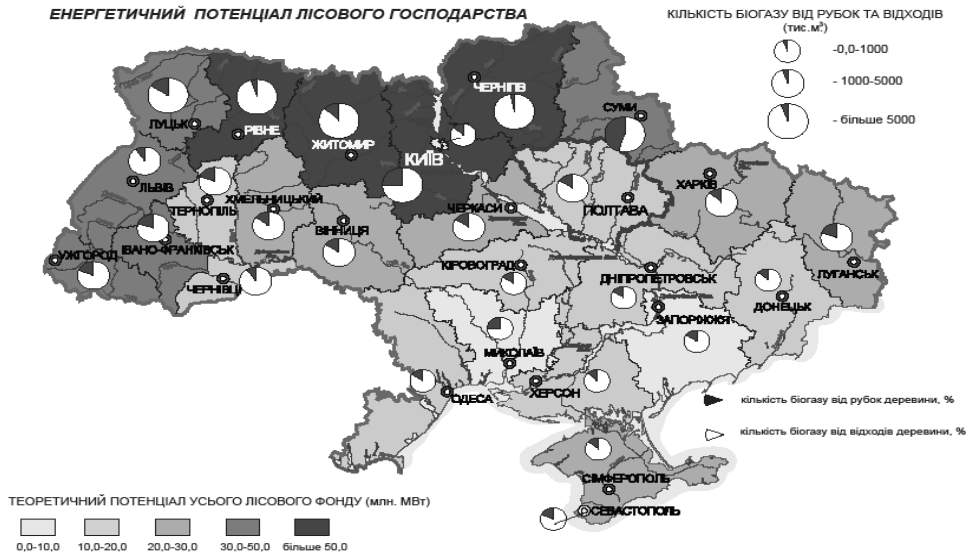


Рис. 4.25. Біоенергетичний потенціал лісового господарства за регіонами України, 2016 р.  
Джерело: [5]

Енергетичний потенціал деревних відходів у 2016 р. в області склав 761166,7 МВт, що відповідає 1370,1 тис. м<sup>3</sup> біогазу. Найбільший рівень даного енергетичного потенціалу має Гадяцький (226 тис. МВт), Новосанжарський (186 тис. МВт), та Полтавський (157 тис. МВт) райони (рис. 4.26). У той же час, використання енергетичного потенціалу відходів деревини дозволило б замінити близько 14 тис. т вугілля в котельнях і ТЕС, а також знизити забруднення повітря CO<sub>2</sub> на 14840 т/рік та SO<sub>2</sub> – на 8,2 т/рік.

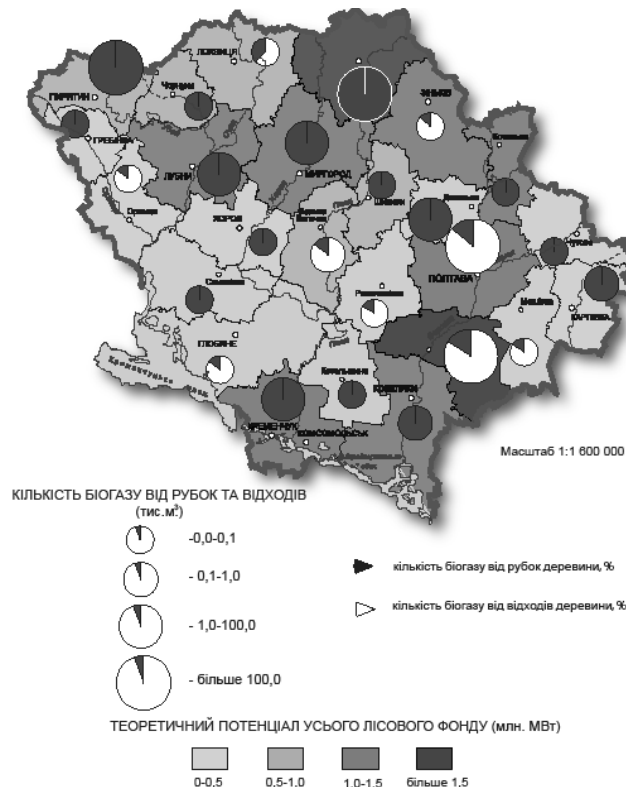


Рис. 4.26. Біоенергетичний потенціал лісового господарства за районами Полтавської області, 2016 р.

Джерело: [5]

На сьогодні в області менш ніж 50 % обсягу стічних вод і відходів тваринницьких ферм та птицефабрик використовуються в якості добрива, інші створюють загрозу забруднення та розповсюдження інфекційних хвороб. Для усунення цих негативних явищ необхідна спеціальна технологія обробки гною, що дозволяє підвищити концентрацію живильних речовин і одночасно

усунути неприємні запахи, подавити патогенні мікроорганізми, понизити вміст канцерогенних речовин. Перспективним, екологічно безпечним і економічно вигідним напрямом вирішення цієї проблеми є анаеробна переробка гною і відходів в біогазових установках із здобуттям біогазу. Завдяки високому вмісту метану (до 70 %) біогаз може горіти. Органічна маса, що залишилася після такої природної переробки, є якісним знезараженим добривом.

Біогаз утворюється в процес анаеробної ферментації органічної речовини під дією бактерій. Метанове бродіння протікає при температурах від 10 до 55°C. В результаті утворюється газова суміш, що містить 60 – 70 % метану, 30 – 35 % вуглекислого газу, 2 – 3 % азоту, 1 – 2 % водню і ін., з нижчою теплою згорання 18 – 27,5 МДж/м<sup>3</sup>, а також екологічно чисте органічне добриво.

Можливу кількість біогазу (P) для районів Полтавської області (для крупних, середніх і малих сільгоспдприємств) розраховується за методикою [3] по формулі:

$$P \text{ [м}^3 \text{ CH}_4\text{/год]} = N \cdot C \text{ [т/год]} \cdot 0,62 \cdot B \text{ [м}^3 \text{ CH}_4\text{/т]}, \quad (4.59)$$

де N – кількість голів худоби і птиць;

C – кількість органічної речовини (гною, посліду) на 1 голову в рік;

B – кількість біогазу на одну тонну органічної речовини (гною, посліду).

Для виключення з розрахунку органічних відходів, непридатних для анаеробного зброджування, введений коефіцієнт доступності (0,62). Енергетичний потенціал біогазу (Q) розраховується за методикою [4] по формулі:

$$Q \text{ [МДж]} = P \text{ [м}^3 \text{ CH}_4\text{/год]} \cdot 22 \text{ [МДж/м}^3\text{]}, \quad (4.60)$$

де 22 МДж/м<sup>3</sup> – теплотворна здатність біогазу.

У Полтавській області обсяг біогазу від відходів тваринництва і птахівництва у 2016 р., склав 118390,9 тис. м<sup>3</sup>, його енергетичний потенціал – 723494,4 МВт, що складає 66 % у порівнянні з 2006 р. Наведені дані на рис. 4.27 показують, що найбільшим потенціалом біомаси володіють Чернігівська, Вінницька, Київська, Черкаська, Львівська, Дніпропетровська та Полтавська області.

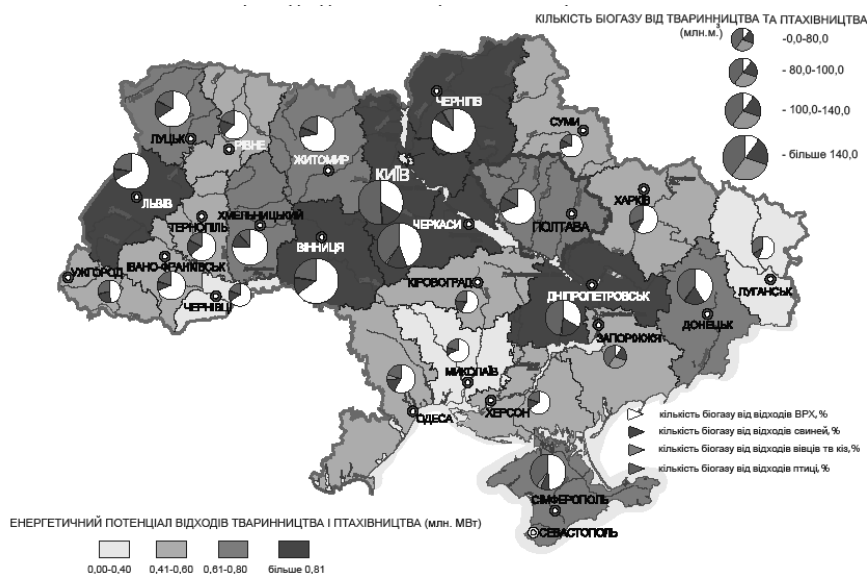


Рис. 4.27. Біоенергетичний потенціал відходів тваринництва і птахівництва за регіонами України, 2016 р.

Джерело: [5]

У порівнянні з іншими регіонами України, Полтавська область має високий рівень енергетичного потенціалу відходів тваринництва і птахівництва. Найбільше значення даного біоенергетичного потенціалу характерне для Гадяцького, Хорольського, Оржицького, Шишацького районів (рис. 4.28). На існуючій базі тваринницьких ферм і птахофабрик в області є доцільним встановлення біогазових установок, які дозволять отримувати не лише електричну і теплову енергію, але також екологічно безпечні добрива.

До продукції енергетичних сільськогосподарських культур із відносно високим вмістом цукру та крохмалю відносяться зерновобобові, овочі, буряки, та ін., що використовуються для виробництва етанолу. До продукції олійних культур, з яких виробляють рослинну олію відносяться соняшник, ріпак, олійний льон. Кількість біомаси (кг/рік), яка утворюється за рік із енергетичних сільськогосподарських культур, розраховують як добуток маса вирощуваної культури та кількості відходів після збору вирощуваної культури. Об'єм же вихідного біогазу (м<sup>3</sup>/рік) розраховується як добуток теоретичного виходу біогазу із енергетичних сільськогосподарських культур та маси даних культур.

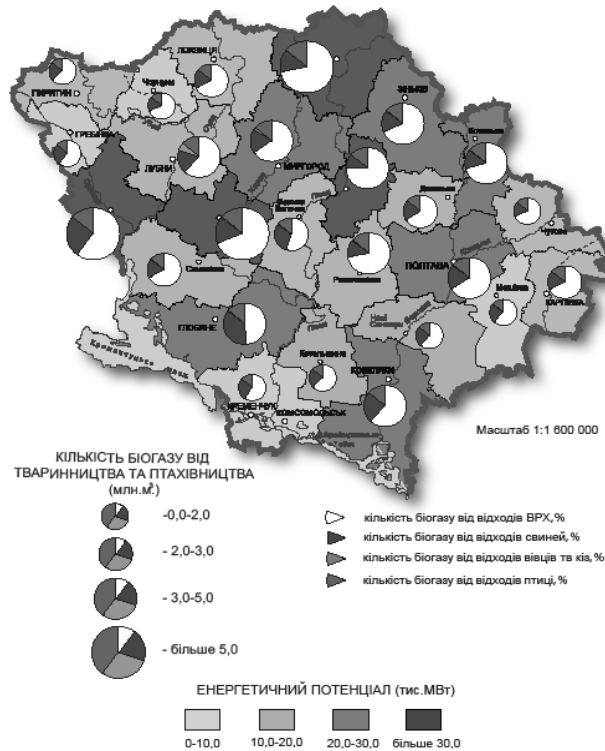


Рис. 4.28. Біоенергетичний потенціал відходів тваринництва і птахівництва за районами Полтавської області, 2016 р.

Джерело: [5]

У Полтавській області обсяг біогазу від рослинної сільськогосподарської біомаси (зернові та зернобобові, овочі, соняшник) склав у 2016 р. 1666 млн. м<sup>3</sup>, його енергетичний потенціал 2998,9 МВт, що складає 116 % у порівнянні з 2006 р. У порівнянні з іншими регіонами України, Полтавська область має найвищий рівень енергетичного потенціалу рослинницької сільськогосподарської біомаси (рис. 4.29).

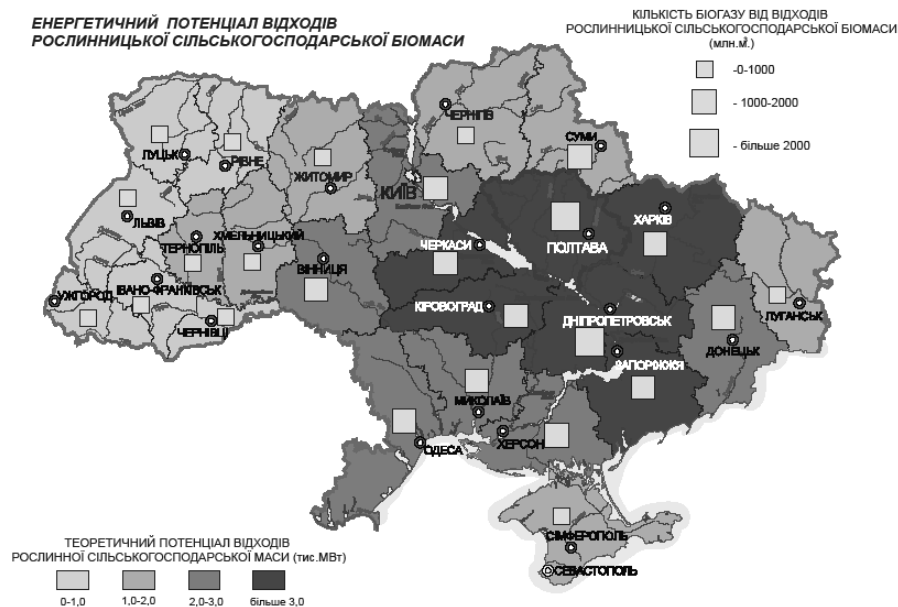


Рис. 4.29. Енергетичний потенціал відходів рослинницької сільськогосподарської біомаси за регіонами України, 2016 р.

Джерело: [5]

Найбільший енергетичний потенціал притаманний Новосанжарському, Миргородському, Глобинському і Машівському районам, і в сумі становлять 40 % енергетичного потенціалу рослинницької сільськогосподарської біомаси області (рис. 4.30).

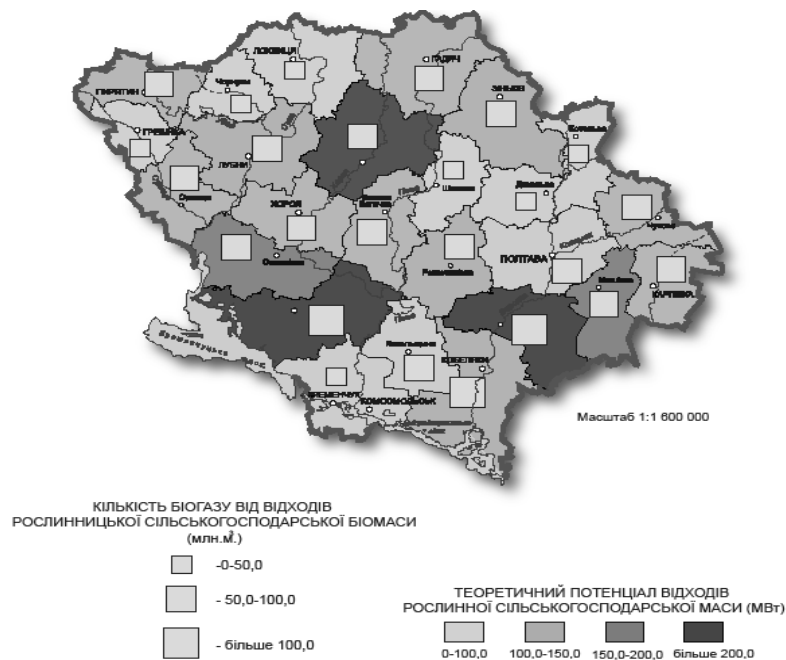


Рис. 4.30. Енергетичний потенціал відходів рослинницької сільськогосподарської біомаси за районами Полтавської області, 2016 р.

Джерело: [5]

У зв'язку із зростанням населення, його концентрацією в містах і розвитком промислового виробництва продуктів харчування, останнім часом стає все більш актуальною проблема ліквідації органічних відходів життєдіяльності людини. Як зазначалося у розділі, переважна частина побутових відходів видаляється на полігонах та звалищах ТПВ. Найбільшим потенціалом отримання біогазу із ТПВ володіють м. Київ, Донецька, Дніпропетровська та Одеська області. Полтавська область має середній рівень енергетичного потенціалу ТПВ (рис. 4.31). Потенційна кількість утворення біогазу із полігонів і звалищ твердих побутових відходів Полтавської області склав 66,22 тис. м<sup>3</sup>, його енергетичний потенціал склав 36787,5 МВт, що еквівалентно 4,8 % теплової енергії, яка щорічно споживається областю, і може замінити спалювання 45,5 тис. т вугілля або 27,2 тис. т мазуту [6].

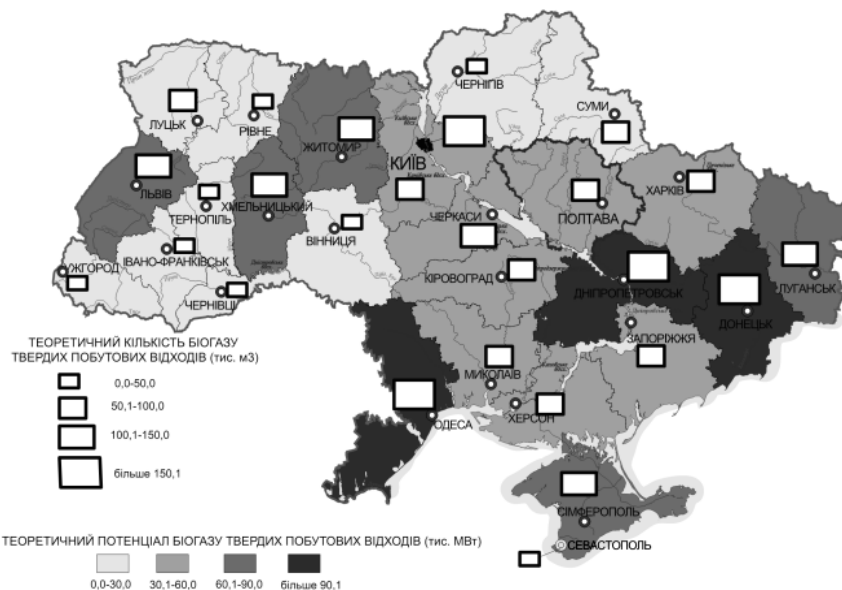


Рис. 4.31. Енергетичний потенціал твердих побутових відходів за регіонами України, 2016 р.

Джерело: [5]

У ряді європейських країн (Велика Британія, Данія, Швеція, Польща, Естонія і ін.) швидкозростаючі види верби (*Salix viminalis*, *S. dasyclados* и др.) широко культивуються для короткого циклового відтворення енергетичної біомаси. У Данії верба вирощується тільки на 500 га

сільськогосподарських земель, у той час як у Швеції плантації верби складають до 20 тис. га. Коли вербу використовують як сільськогосподарську культуру, завжди є можливість зупинити її вирощування чи замінити її іншою, більш придатною [8]. В енерголісництвах використовують вербу *Salix*, яка зазвичай густа й виростає до 5 – 6 м заввишки та має велику кількість паростків. Насадження верби залишається продуктивним протягом 25 – 30 років і у цей період урожай може збиратися через кожні 3 – 4 роки, потім стебла переробляють в тріску, яку спалюють як в традиційних, так і в спеціальних установках для здобуття тепла і електроенергії. Після кожного збирання, нові паростки зі зрізаних стебел утворюють новий гай. Після цього часу (приблизно 25 років) вербу викорчуюють, ґрунт рекультивується, а потім землю використовують для вирощування інших рослин або влаштовують ще один енергогай.

У Польщі і Швеції річний урожай сухої деревної біомаси верби досягає в середньому 10 – 12 т/га (теплота згорання 1 т сухої маси відповідає 16 – 19 ГДж) і енергетично еквівалентний 7 т кам'яного вугілля або 5,5 т мазуту.

Виробництво біомаси вербових роду *Salix* перспективно організовувати на непридатних сільськогосподарських і надлишково зволжених землях в заплавах річок, на заболочених луках. Чагарникові верби швидко зростають на порушених землях – відвалах розкритих порід гірських вироблень (кар'єрів), на еродованих землях, покинутих пасовищах. Менш значимі для плантацій верб ґрунти супіщаного і піщаного механічного складу, долини річок із заплавами, що глибоко розрізаються, з крутими ухилами. SWOT-аналіз перспективності використання вербових плантацій в умовах Полтавської області наведений у табл. 4.27.

Таблиця 4.27

**SWOT-аналіз перспективності використання вербових плантацій в умовах Полтавської області**

<p style="text-align: center;">Сильні сторони</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Широке поширення вербових (рід <i>Salix</i>), високе меліоративне значення.</li> <li>2. Використання малопродуктивних земель для вирощування верби протягом 20 – 25 років.</li> <li>3. Зниження залежності від постачань природного газу, вугілля, мазуту.</li> <li>4. Відновлюваність ресурсів</li> </ol>	<p style="text-align: center;">Слабкі сторони</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Блокування дренажних систем корінням верби.</li> <li>2. Тривалий період окупності (10 – 12 років).</li> <li>3. Необхідність державної підтримки (дотацій, субсидій і ін.).</li> <li>4. Погане збереження подрібненої верби</li> </ol>
<p style="text-align: center;">Можливості</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Комплексне використання вербових плантацій для очищення стічних вод, осушення заболочених земель.</li> <li>2. Для створення плантацій придатні ґрунти надлишково зволожені.</li> <li>3. Використання для підвищення врожайності плантацій як добрива що не доочищують стічних вод ЖКГ, тваринницьких ферм і ін.</li> <li>4. Спалювання вологої тріски в котельній відразу після заготівки в зимовий час</li> </ol>	<p style="text-align: center;">Загрози</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Порушення роботи меліоративної мережі.</li> <li>2. Скрутне механізоване прибирання на перезволжених ґрунтах у зв'язку з позитивними температурами в зимовий час.</li> <li>3. Недостатньо вивчена довгострокова дія стічних вод на фізико-хімічні властивості ґрунтів</li> <li>4. Розкладання (спалах) подрібненої тріски при тривалому її зберіганні</li> </ol>

*Джерело: авторська розробка*

Для Полтавської області вирощування верб найбільш перспективними є малородючі землі в заплавах річок Ворскла і Псел. Також найбільш перспективними районами для вирощування верб є Решетилівський, Семенівський, Козельщанський райони та частково Глобинський, Шишацький, Деканський та Кременчуцький райони. Біоенергетичний потенціал біомаси верби на площі 4,5 тис. га щорік досягає 225000 МВт, що еквівалентно 3,4 % споживаної областю теплової енергії, а також спалюванню 32,3 тис. т вугілля або 19,3 тис. т мазуту.

Сумарний потенціал ресурсів біомаси у Полтавській області досягає 1548,83 млн. МВт за рік, що відповідає 1786,03 млн. м<sup>3</sup> біогазу. Наведені дані на рис. 4.32 свідчать, що найбільшим енергетичним потенціалом володіють Гадяцький (411565,4 МВт), Полтавський (323477,4 МВт) та Новосанжарський (287105,6 МВт) райони.

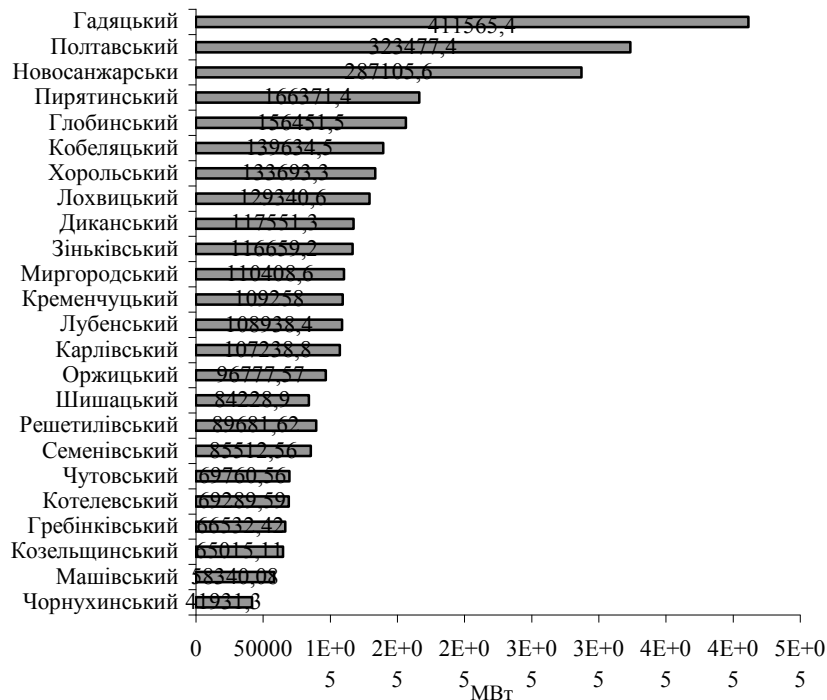


Рис. 4.32. Сумарний енергетичний потенціал біомаси по районах Полтавської області, 2016 р.  
Джерело: розраховано авторами за даними [2]

Співвідношення часток можливого використання біоенергетичних ресурсів у Полтавській області: деревинні відходи та рубка деревини – 43,51 %, відходи тваринницьких ферм і птахофабрик – 41,35 %, відходи з рослинної сільськогосподарської культури – 0,17 %, тверді побутові відходи – 2,1 %, вербові плантації – 12,86 % (табл. 4.28).

Таблиця 4.28

**Біоенергетичний потенціал Полтавської області, 2016 р.**

Вид біопалива	Енергетичний потенціал, МВт
Деревинні відходи та рубка деревини	761167,0
Відходи тваринницьких ферм і птахофабрик	723349,0
Відходи з рослинної сільськогосподарської культури	2999,0
ТПВ	36787,5
Тріска верби	225000,0
Всього	1749302,5

Джерело: розраховано авторами за даними [2]

Використання в біоенергетиці регіону потенціалу біоресурсів дозволить покращити екологічну ситуацію в регіоні знизивши викиди CO<sub>2</sub> на 232 тис. т, а SO<sub>2</sub> – на 0,8 тис. т у рік. Більш широке використання біоенергетичного потенціалу обумовлене необхідністю вирішення енергетичних проблем Полтавської області без погіршення екологічної ситуації та може привести до збільшення його частини в теплоенергетиці регіону від 0,4 % до 19,2 % [6].

**4.10. Використання побічної продукції, відходів і залишків сільського господарства для виробництва твердих біопалив**

© Драгнєв С. В.

*к.т.н., доц., Інститут технічної теплофізики НАН України, м. Київ, Україна*

© Желєзна Т. А.

*к.т.н., с.н.с., Інститут технічної теплофізики НАН України, м. Київ, Україна*

© Баштовий А. І.

*к.т.н., Інститут технічної теплофізики НАН України, м. Київ, Україна*

У світі на біомасу припадає 3/4 загального обсягу енергії з відновлюваних джерел енергії (ВДЕ). У 2014 р. споживання енергії з біомаси склало 1206 млн. т н.е. або 14 % споживання енергії у світі. Біомаса домінує у секторі виробництва теплової енергії з ВДЕ та займає третє місце у секторі

електроенергетики з ВДЕ. Сільське господарство – одна з основних галузей матеріального виробництва, що продукує біомасу, зокрема, у формі побічної продукції, відходів та залишків. Агропромисловий сектор забезпечує 10 % загальне постачання первинної енергії (ЗПPE) у світі за рахунок використання тваринницької і рослинницької біомаси та спеціально вирощених енергетичних культур [4, с. 15].

Основу біомаси формують органічні сполуки вуглецю, який фіксується з вуглекислого газу атмосфери під дією сонячного випромінювання у процесі фотосинтезу. За допомогою фізичних, хімічних, термохімічних або біохімічних процесів біомаса може бути трансформована в біопалива або в кінцеву енергію [7, с. 190]. При спалюванні біомаси або її похідних продуктів, органічний вуглець, що міститься в ній, та кисень з атмосфери вступають в реакцію з утворенням двоокису вуглецю та води. Процес є циклічним, тому що двоокис вуглецю, який виділився при спалюванні, може брати участь у виробництві нової біомаси. Отже, біомаса є відновлюваним джерелом енергії із CO<sub>2</sub> нейтральним балансом. Крім цього, важливою перевагою енергетичного використання біомаси є її мультिवаріантність як за технологіями перетворення енергії, так і за способами кінцевого використання енергії.

Згідно чинного законодавства України, біомасою вважається невикопна біологічно відновлювана речовина органічного походження, здатна до біологічного розкладу, у вигляді продуктів, відходів та залишків лісового та сільського господарства (рослинництва і тваринництва), рибного господарства і технологічно пов'язаних з ними галузей промисловості, а також складова промислових або побутових відходів, здатна до біологічного розкладу [14, Стаття 1].

Загалом виділяють три групи сільськогосподарської біомаси [4, с. 9]:

- 1) первинну, яка є побічною продукцією рослинництва (солома, стебла соняшника та кукурудзи, тощо);
- 2) вторинну, отриману при переробці основної сільськогосподарської продукції (жом, макуха, лушпиння, шкаралупа, костриця і т. п.);
- 3) гній.

Агропромисловий комплекс (АПК) може виробляти широкий спектр продукції з сільськогосподарської біомаси першої та другої груп: харчові продукти, корма, біопалива, добрива, конструкційні матеріали, сировину для харчової, легкої, фармацевтичної, парфумерної та хімічної промисловості, тощо. Так, наприклад, солону застосовують як добриво, підстилку та грубі корми для худоби, сировину для виробництва компосту, будівельний матеріал, переробляють у тверді біопалива: тюки, рулони, паливні гранули (пелети), паливні брикети. Гній переважно використовують як органічне добриво або піддають метановій ферментації у біогазових установках.

Для забезпечення ефективної міжнародної торгівлі й сприяння кращої взаємодії виробників і покупців біопалива та інших зацікавлених сторін у 2014 р. введені в дію міжнародні стандарти серії ISO 17225, які встановлюють технічні вимоги та класифікацію твердих біопалив відповідно до сировини та матеріалів із наступного природного та промислового походження:

- a) лісової промисловості та розведення декоративних дерев і кущів;
- b) сільського господарства, включаючи, сідівництво та овочівництво;
- c) культивування водних організмів.

Матеріали, які піддавалися хімічній обробці, не повинні містити органічні з'єднання у склад яких входять галогени, а також важкі метали у кількості більшій, ніж типові вмісти металів у необроблених матеріалах або вміст металів, типовий для країни, з якої походить матеріал. Основні торгові форми твердих біопалив із сільськогосподарської біомаси наведені у табл. 4.29.

Таблиця 4.29

**Основні торгові форми твердих біопалив з сільськогосподарської біомаси згідно ISO 17225-1**

Найменування біопалив	Типовий розмір часток	Метод отримання
Брикети	Діаметр понад 25 мм	Механічне стиснення (прес)
Гранули (пелети)	Діаметр не більше 25 мм	Механічне стиснення (прес)
Тюки:		
малі прямокутні	0,1 м <sup>3</sup>	Стиснення та скріплення у прямокутну форму
великі прямокутні	3,7 м <sup>3</sup>	Стиснення та скріплення у прямокутну форму
круглі (рулони)	2,1 м <sup>3</sup>	Стиснення та скріплення у циліндричну форму
Подрібнена солома або енергетична трава	Від 10 до 200 мм	Рубка під час збирання врожаю або перед стисненням
Зерно або насіння	Різний	Без додаткової підготовки або сушки, за виключенням операцій, необхідних для зберігання зерна
Кісточки або ядра плодів	Від 5 до 15 мм	Без підготовки або пресування та обробки хімічними екстрагентами
Волокниста макуха	Різний	Висушування волокнистих відходів
Термічно оброблена біомаса	Різний	Попереднє короткочасне (наприклад, 60 хв) перебування біомаси при температурі від 200 до 3000 С

Джерело: узагальнено авторами

Тюкована біомаса є зручною продукцією, яка через ущільнення сировини у 4 – 5 разів сприяє більш ефективній логістиці та зберіганню (табл. 4.30).

Таблиця 4.30

**Характеристика енергомідкості соломи в  
залежності від технологій її приготування до спалювання**

Форма соломи	Насипна щільність, кг/м <sup>3</sup>	Питомий об'єм, м <sup>3</sup> /т	Питома енергомідкості, ГДж/м <sup>3</sup>
Насипна	20 – 50	20 – 50	0,29 – 0,72
Подрібнена (січка)	40 – 60	16 – 25	0,57 – 0,86
Круглі тюки (рулони)	70 – 110	9 – 14	1,01 – 1,58
Прямокутні тюки	70 – 160	6 – 14	1,01 – 2,3
Брикети	300 – 700	1,4 – 3,3	4,65 – 11,2
Пелети	500 – 700	1,4 – 2,0	7,75 – 11,2

Джерело: узагальнено авторами

Вибір напрямку виробництва твердих біопалив, теплової і електричної енергії з сільськогосподарської біомаси повинен бути економічно, екологічно та соціально обґрунтованим. Сталий розвиток біоенергетики є невід'ємною складовою частиною загального процесу сталого розвитку суспільства. Європейська Комісія приділяє велику увагу цьому питанню з акцентом на забезпечення сталого отримання біомасової сировини для виробництва біопалив та енергії. Деякі вимоги щодо цього є обов'язковими для країн-членів ЄС (виробництво рідких біопалив та біорідин), інші ще носять рекомендаційний характер (виробництво електричної енергії, теплової енергії та холоду з твердої та газоподібної біомаси). Загалом спостерігається тенденція поступового посилення вимог щодо виконання критеріїв сталості [2, с. 4 – 5].

Україна належить до країн з високим біоенергетичним потенціалом. Перспективи розвитку біоенергетики в Україні визначені Національним планом дій з відновлювальної енергетики (НПДВЕ) на період до 2020 р., затвердженим Урядом 1 жовтня 2014 р. Відповідно до нього, біоенергетика повинна вийти до 2020 р. на рівень заміщення природного газу в 8,3 млрд. м<sup>3</sup> на рік [5 с. 13].

За оцінкою Біоенергетичної асоціації України, станом на 2015 р. потенціал енергії з біомаси складав 20,2 млн т н. е. (табл. 4.31). Основними складовими цього потенціалу є побічна продукція рослинництва (загалом 7,6 млн т н. е., 37,6 % від загального потенціалу біомаси) та енергетичні культури (загалом 7,9 млн т н. е., 39 % від загального потенціалу). Побічні продукти рослинництва включають солому зернових і ріпаку, стебла кукурудзи, соняшнику і т. п.

Таблиця 4.31

**Енергетичний потенціал біомаси в Україні, 2015 р. та прогноз на 2050 р.**

Вид біомаси	Теоретичний потенціал, млн т		Частка, доступна для енергетики, %		Потенціал, доступний для енергетики, млн т н. е.	
	2015 р.	2050 р.	2015 р.	2050 р.	2015 р.	2050 р.
Солома зернових культур	35,14	52,7	30	30	3,65	5,48
Солома ріпаку	3,1	4,7	40	40	0,43	0,65
ПП виробництва кукурудзи на зерно (стебла, стрижні)	30,3	45,5	40	40	2,32	3,48
ПП виробництва соняшника (стебла, корзинки)	21,2	21,2	40	40	1,22	1,22
Вторинні відходи сільського господарства (лушпиння соняшника)	1,90	1,90	74	74	0,50	0,50
Деревна біомаса (дрова, порубкові залишки, відходи деревообробки)	6,0	9,0	94	94	1,39	2,08
Деревна біомаса (сухостій, деревина з лісосмуг, обрізки)	8,8	8,8	41	41	1,03	1,03
Біодизель (з ріпаку)	–	–	–	–	0,19	0,19
Біоетанол (з кукурудзи і цукрового буряку)	–	–	–	–	0,54	0,54
Біогаз з відходів та побічної продукції АПК	1,6 <sup>1)</sup>	11,2 <sup>1)</sup>	50	100	0,68	2,38
Біогаз з твердих побутових відходів	0,6 <sup>1)</sup>	5,8 <sup>1)</sup>	34	100	0,18	0,60
Біогаз зі стічних вод (промислових та комунальних)	1,0 <sup>1)</sup>	9,0 <sup>1)</sup>	23	100	0,19	0,39
<b>Енергетичні культури:</b>						
верба, тополя, міскантус (за умови вирощування на 1,5 млн. га у 2015 р. і на 3 млн. га у 2050 р.)	17,25	51,8	90	90	6,58	19,74
кукурудза на біогаз (за умови вирощування на 0,5 млн. га у 2015 р. і на 1 млн. га у 2050 р.)	1,67 <sup>1)</sup>	6,68 <sup>1)</sup>	90	90	1,29	5,15
<b>Всього</b>	–	–	–	–	20,19	43,42

ПП – побічна продукція;

<sup>1)</sup> млрд м<sup>3</sup> СН<sub>4</sub>

Джерело: [4, с. 16 – 17]



При оцінці потенціалу використання побічної продукції сільського господарства для потреб енергетики важливим є врахування агротехнічних та екологічних чинників. Так, при оцінці потенціалу відчуження поживних решток (напр., соломи зернових та технічних культур), компромісна, з аграрної точки зору, частка біомаси, яку можна забирати з поля (з поверненням зольного залишку від спалювання), складає 30 – 40 % в залежності від культури. Такі частки відчуження не суперечать технологіям ведення традиційного рослинництва в Україні та добре корелюються з аналогічними даними для ряду розвинених країн світу (табл. 4.32).

Таблиця 4.32

**Частка аграрної біомаси, що може використовуватися для потреб енергетики**

Вид біомаси, країна	Частка теоретичного потенціалу для потреб енергетики
Солома:	
ЄС	25 – 50 %
Данія, Німеччина	30 %
Швеція	60 %
Естонія	15 – 65 %
Італія	40 – 60 %
США	30 – 50 %
Україна	30 % (зернові) <sup>1)</sup> ; 40 % (ріпак) <sup>1)</sup> ; 20 – 50 % <sup>2)</sup>
Побічна продукція виробництва кукурудзи на зерно (КЗ) та соняшника:	
ЄС	30 – 50 %
Швеція (КЗ), Греція	60 %
Італія (КЗ)	40 – 60 %
США (КЗ)	30 – 40 %; при No-Till 70 – 80 %
Україна	40 % <sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> позиція Біоенергетичної асоціації України;

<sup>2)</sup> рекомендації інших українських фахівців

Джерело: [1, с. 24]

Слід зазначити, що біомаса сільськогосподарського походження складає фактичну частину потенціалу, а енергетичні культури є перспективною частиною, яка може бути отримана шляхом вирощування енергетичних культур на 2 млн га вільних сільськогосподарських земель.

Прогноз біоенергетичного потенціалу в 2050 р. показує, що він може збільшитися у 2,2 рази порівняно з теперішнім рівнем і досягти 42 млн т н. е. Загальна структура потенціалу залишиться незмінною, але очікується, що внесок енергетичних культур складе 56 % загального потенціалу (24,5 млн т н. е.), а частка побічних продуктів рослинництва зменшиться до 25 % (10,8 млн т н. е.). Прогноз ґрунтується на припущеннях про зростання обсягів валового виробництва основної продукції агропромислового комплексу в 1,5 – 2 рази, збільшення врожайності зернових культур та ріпаку в 1,5 рази, збільшення площ землі під вирощування енергетичних культур в 2 рази та їх врожайності в 1,5 – 2 рази.

За даними Державної служби статистики України, у 2015 р. ЗППЕ з біомаси (біомаса, паливо та відходи) складало лише 2,2 % (2 млн т н. е.), а сумарна частка всіх ВДЕ становила 4 % (3,6 млн т н. е.). Використання 100 % енергетичного потенціалу лише біомаси вистачило б, щоб покрити від 22,4 % (потенціал 2015 р.) до 48,2 % (потенціал 2050 р.) поточного рівня ЗППЕ в Україні.

Загальне виробництво пелет в Україні у 2015 р. склало 1319465 т на 494 підприємствах (табл. 4.33). Виробництво пелет з деревини склало до 390000 т, лушпиння – 723650 т, соломи – 146000 т, торфу – 8400 т, інші – 51835 т.

Таблиця 4.33

**Структура виробництва пелет в Україні у 2015 р.**

Типи сировини (у тому числі комбіновані)	Кількість виробників	Виробництво, т
Деревина	254	359030
Лушпиння	110	632800
Солома	24	82700
Торф	4	8400
Деревина, солома, лушпиння	19	41700
Деревина, солома	11	18000
Деревина, лушпиння	29	50000
Солома, лушпиння	11	80000
Інші	32	51835
Всього	494	1324465

Джерело: [9, с. 44]

Обсяги вітчизняного виробництва паливних брикетів на 01.05.2016 р. становили 170 тис. т/рік з деревини та 95 тис. т/рік з агрокультур. Річні обсяги тюкованої соломи як твердого біопалива оцінюються у 300 тис. т [8, с. 19].

Згідно Енергетичної стратегії України на період до 2035 року, частка енергії з біомаси, біопалив та відходів в структурі ЗППЕ у 2035 р. складе 11,5 % (11 млн т н. е.).

Результати оцінки розподілу біопалив для виробництва теплової енергії в Україні за видами представлено на рис. 4.33. Видно, що для досягнення поставлених цілей найближчими роками потрібне широке залучення відходів сільського господарства (соломи, стебел кукурудзи/соняшника) та енергетичних культур до паливно-енергетичного балансу країни.

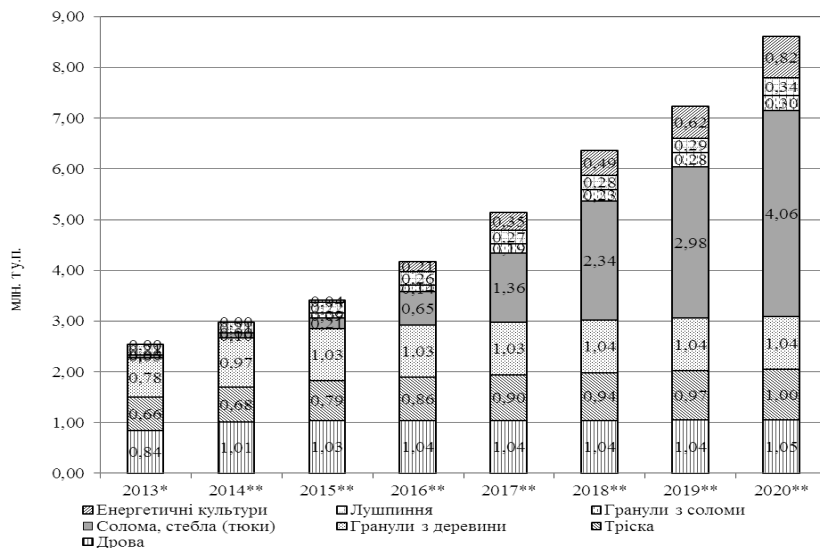


Рис. 4.33. Структура біопалив для виробництва теплової енергії в Україні

- 1) оцінка згідно даних енергобалансу України;
- 2) прогноз згідно даних НПДВЕ та припущень авторів

Джерело: [9, с. 44]

Використання твердих біопалив на біоенергетичних об'єктах викликає ряд проблем, пов'язаних з необхідністю зміни сформованої або створення додаткової ресурсно-логістичної інфраструктури для заготівлі біомаси, її переробки у біопалива та логістики біомаси/біопалив. Життєвий цикл біопалив з сільськогосподарської біомаси починається у полі, а тому для сталого функціонування біоенергетичних проектів важливо залучати агровиробників, яких потрібно заохочувати до вирощування та створення умов для заготівлі та постачанні заданих обсягів енергетичної сировини. Зазвичай на базі агровиробника можливо реалізувати повний цикл переробки біомаси та її постачання на біоенергетичні об'єкти. Але для цього вони повинні задіяти додаткові трудові та матеріальні ресурси, з якими виникають труднощі, враховуючи напружений графік проведення польових робіт, обмежені агростроки виконання технологічних операцій та погодні ризики. До того ж для аграріїв головною ціллю є отримання максимального врожаю основною товарної продукції – зерна, тоді як солома, стебла, качани – побічна продукція.

Обсяги побічної продукції суттєво залежать від сортових особливостей сільськогосподарських культур та агротехнології. У загальному випадку використовують коефіцієнти виходу сільськогосподарської біомаси, яку можливо отримати по відношенню до зерна, як наведено у табл. 4.34.

Таблиця 4.34

**Значення коефіцієнтів виходу сільськогосподарської біомаси**

Сільськогосподарська культура	Коефіцієнт виходу соломи по відношенню до зерна
Пшениця	1,0
Жито	1,3
Ячмінь	0,8
Овес	1,0
Просо	0,8
Кукурудза	1,3
Соя	0,9
Соняшник	1,9
Ріпак	2,0
Рис	0,9
Продукція	Коефіцієнт виходу лушпиння по відношенню до насіння
Соняшникове насіння	0,15

Джерело: [10]

Побічна продукція рослинництва має свою ціну, яка може коливатися у широких межах в залежності від попиту та пропозиції окремих агровиробників у регіоні. Виділяють три основних варіанти визначення ціни побічної продукції рослинництва у полі:

1) побічна продукція рослинництва заважає агровиробникам у полі, і тому вони її віддають за умовну оплату, наприклад, 50 грн./т;

2) побічна продукція рослинництва забирається з полів у рахунок оплати за послуги із проведення механізованих робіт;

3) ціна побічної продукції рослинництва визначається за вартістю еквівалентних доз мінеральних добрив для заміни поживних елементів у біомасі. При цьому обов'язково необхідно враховувати її вологість.

Золу після спалювання біомаси можна використовувати як добрива. Вартість поживних елементів у золі, отриманої від спалювання 1 т побічної продукції рослинництва, становить понад 100 грн.

За рахунок зменшення кількості обсягів рослинних решток у полі агровиробник скорочує витрати на управління рослинними рештками. Орієнтовні обсяги скорочення витрат:

- подрібнення та розподіл решток комбайном – 90 грн./га;
- внесення біологічних препаратів (гумат калію 1 л на 1 т рослинних решток) – 42 грн./т соломи;
- внесення додаткових азотних добрив (10 кг азоту на 1 т рослинних решток) – 220 грн./т соломи;
- загорання соломи (додаткове лущення) – 63 грн./га.

Особливі складності виникають із заготівлею біомаси, яка є побічною продукцією розосередженого сільськогосподарського виробництва (наприклад, солома у полі) з огляду на сезонність утворення, малу тривалість збирання, невелику врожайність з одиниці площі (в українських реаліях зазвичай від 2 до 5 т/га) та залежність від технологічних операцій з вирощування сільськогосподарських культур. Ґрунт з необробленою стернею швидко втрачає вологу, також розростаються бур'яни. Тому солому з полів необхідно забирати одночасно із збиранням врожаю. Строки заготівлі і вивезення соломи з полів потрібно узгоджувати із агровиробниками та суворо їх виконувати.

Нині переважно застосовуються технології з укладанням незернової частини врожаю в валок (валкова) та з розкиданням полови і подрібненої соломи на поверхні поля. В окремих господарствах, які мають в своєму парку старі моделі комбайнів, застосовується потокова технологія із збором подрібненої соломи в змінні причепи. Але можливості її застосування обмежуються термінами збирання, погодними умовами, трудомісткістю навантаження на транспортний засіб, високою вартістю пального та недостатньою забезпеченістю господарств зернозбиральними комбайнами, тракторами і причепами для транспортування незернової частини врожаю до місць зберігання [13].

Досвід аграріїв свідчить, що для забезпечення заготівлі заданих обсягів та необхідної якості сільськогосподарської біомаси потрібно використовувати спеціальні заготівельні механізовані ланки, укомплектовані технікою та кваліфікованим персоналом. Схема організації виробничого процесу по заготівлі тюкованої соломи зображена на рис. 4.34.



Рис. 4.34. Схема організації виробничого процесу по заготівлі тюкованої соломи  
Джерело: авторська розробка

З метою збирання якомога більших обсягів соломи, необхідно укласти у валок стебла максимальної довжини, а для цього при збиранні зрізають рослини на мінімальній висоті. Висота зрізу стебла жаткою залежить від густоти рослин і висоти зернових культур, стану ярусності, рельєфу поля та цілей використання соломи. На високорослих та щільних, з великою кількістю стебел посівах висоту зрізу підвищують до 27 см, на рідких та низькорослих – знижують до 15 см [11].

Заготовляти потрібно суху солому вологістю до 20 %, тому що більш волога біомаса починає гнити. Валок повинен лежати на стерні без просідання, з метою його продування вітром, що забезпечить більш швидке висушування соломи після опадів. У спекотну погоду можна зменшити висоту стерні.

Процес збирання врожаю ускладнюється забур'яненістю полів, тому що бур'яни під час збирання зерна мають вологість близько 70 %, тоді як стебла зернових сухі. Бур'яни у соломі, особливо у добре спресованій, викликають її гниття.

Під час збирання врожаю рослини проходячи через системи комбайна, піддаються дії різних навантажень, внаслідок чого солома, залежно від типу та настройки молотильно-сепаруючого пристрою, може подрібнюватися сильніше та утвориться більше полови, яка сильно розноситься

вітром та погано підбирається прес-підбирачами. Це потрібно враховувати при виборі та налагодженні режиму роботи зернозбирального комбайна. При заготівлі соломи для енергетичних потреб комбайн виконує наступні функції: зрізає, подрібнює та перерозподіляє біомасу із смуги шириною жатки у валок шириною до 2 м.

Для формування тюків з соломи та їх обв'язування використовують прес-підбирачі, що дозволяють отримати щільні та заданої форми й потрібних розмірів прямокутні тюки або циліндричні рулони. Розрізняють наступні види прес-підбирачів: поршневі для формування малих (шириною 0,46 м), середніх (шириною 0,8 м) і великих (шириною 1,2 м) прямокутних тюків, рулонні з постійною та змінною камерою пресування.

Враховуючи меншу щільність соломи у рулонах та малих тюках, меншу продуктивність пресування, складності у логістиці і зберіганні тюків внаслідок гіршого використання об'єму транспорту й складів на потужних біоенергетичних об'єктах, їх використання обмежене. Через більші витрати на збирання і вантажні операції, прес-підбирачі середніх тюків також мало застосовуються для виробництва тюків для енергетичного використання. Можливості технології заготівлі сіна та соломи із застосуванням прес-підбирачів великогабаритних тюків в останні роки значно розширилась. Ці машини мають незаперечні переваги перед іншими конструкціями машин, зокрема [3, с. 278]:

- високу продуктивність і, відповідно, менші затрати праці;
- високу щільність пресування;
- збереження високої якості сировини;
- краще використання вантажопідйомності транспортних засобів, місткості складських приміщень, підвищення продуктивності навантажувачів.

Тюки повинні мати довжину, яка дозволить їх перевезення, як у основному, так і резервному транспорті. Також необхідно витримати дозволена висоту транспортного засобу 4 м, а у разі погодження маршруту, відповідно до законодавства України, можна без дозволу перевозити вантажі заввишки від поверхні дороги до 4,35 м включно [15, с. 98].

Для завантаження середніх, великих тюків і рулонів використовують: трактор з фронтальним навантажувачом, телескопічний, вилковий або фронтальний навантажувачі. Вантажні операції з малими тюками виконують здебільшого вручну.

Найбільш широке застосування для завантаження/розвантаження тюків отримали телескопічні навантажувачі, які можуть піднімати декілька тюків (вантажопідйомність від 2,5 т) на висоту понад 6 м. Вони також характеризуються високою маневреністю, легкістю у керуванні, швидкістю пересування 40 км/год., деякі моделі мають задню начіпку, що дозволяє використовувати їх для транспортування причепів. Крім цього для швидкого збору та вивезення тюків і рулонів з полів можуть застосовуватися спеціальні самозавантажувальні причепа, що не потребує використання навантажувачів.

Для перевезення тюкованої соломи широко використовуються вантажні автомобілі або трактора з причепами. Перевезення на дальні відстані доцільно проводити вантажними автомобілями із довгомірними напівпричепами, але при цьому потрібно враховувати їх технічні характеристики для пересування по полю. Для надійного закріплення тюків на транспортній платформі слід використовувати спеціальні стяжні ремені з крюками та храповим механізмом, для натягування стрічки. Ширину стрічки підбирають за максимальним допустимим робочим навантаженням та номінальною силою натягу.

Солома та інша сільськогосподарська біомаса, призначена для спалювання, повинна зберігатися в умовах [12, с. 32], що забезпечують її захист від замокання, гниття, займання. Найкраще зберігати тюковану солому у закритих приміщеннях або під навісами. Зберігання у закритих приміщеннях дозволяє підтримувати вологість соломи на одному рівні, запобігає гниттю. Великі склади соломи мають питома навантаження на площу складу 1,5 – 2,5 т/м<sup>2</sup>. При використанні навісів вони повинні мати великий козирок, щоб дощова вода не попадала на біопаливо. Важливо забезпечити вільний доступ до соломи, для того щоби спростити процедуру зберігання та її завантаження і розвантаження. Крім того, у приміщенні має бути достатньо вільного місця для маневрів розвантажувача/навантажувача.

Солому також можна зберігати на відкритому повітрі, що є значно дешевшим, але у більшості випадків цей спосіб підходить лише для короткочасного зберігання. При зберіганні тюків без накриття існує ризик підвищення вологості соломи (особливо її верхнього шару) до рівня, що перевищує допустимий для спалювання в енергетичних установках – 20 %.

Також солому можна зберігати під плівковим покриттям, але це не рекомендується за умов вітряного клімату. Як альтернатива, солому можна загорнути у плівку, що розтягується і є вітростійкою. Укривати потрібно суху солому вологістю до 20 %, оскільки при накритті плівкою більш волога біомаса при обмеженому доступі кисню починає розкладатися.

У табл. 4.35 наведено базовий перелік техніки для заготівлі побічної продукції рослинництва у тюках, який підібрано для досягнення однакової продуктивності 20 – 35 т/год. послідовних операцій: тюкування та збору і складання тюків на краю поля. Наступні технічні операції із завантаження тюків, їх перевезення та укладання на тривале зберігання також мають однакову продуктивність при відстані транспортування до 30 км. Всього базовий перелік техніки для заготівлі побічної продукції рослинництва коштує 901 тис. євро. За наявності вантажних автомобілів для перевезення тюків вартість комплексу техніки зменшується до 581 тис. євро.

Таблиця 4.35

**Базовий перелік техніки для заготівлі побічної продукції виробництва пшениці та кукурудзи на зерно в тюках**

Процес	Найменування обладнання	Вартість одиниці, тис. євро	Кількість	Вартість, тис. євро
Заготівля	1. Тюкування <sup>1)</sup> :	308	1	308
	трактор 250 к.с.	135	1	135
	прес-підбирач великих прямокутних тюків	173	1	173
Збір і транспортування	2. Збір і складання тюків на краю поля:	131	1	131
	трактор 110 к.с.	35	1	35
	причіп самозавантажувальний	96	1	96
	3. Вантажні операції: телескопічний навантажувач	71	2	142
	4. Транспортування <sup>2)</sup> : автомобіль-тягач із напівприцепом	80	4	320
Всього				901
Разом за пп. 1 – 3				581 <sup>3)</sup>

<sup>1)</sup> для формування валків побічної продукції кукурудзи на зерно використовуються жатки Mais Star Collect вартістю 54 тис. євро/од;

<sup>2)</sup> відстань перевезення з поля на центральний склад до 30 км;

<sup>3)</sup> капітальні витрати у техніку для заготівлі побічної продукції рослинництва у тюках за наявності вантажних автомобілів для транспортування біомаси

Джерело: розрахунки авторів

З огляду на різні часові проміжки збирання пшениці та кукурудзи на зерно, комплект техніки можна використовувати для заготівлі 6 тис. т соломи пшениці та 6 тис. т побічної продукції кукурудзи на зерно. Агровиробник залишає соломі та кукурудзиння у валках, які у закріпленій у договорі із заготівельною організацією термін повинні бути затюковані та вивезені на центральний склад біоенергетичного об'єкту. Ціна побічної продукції рослинництва визначається за вартістю еквівалентних доз мінеральних добрив для заміни поживних елементів у біомасі: 6,5 євро/т соломи пшениці та 8,8 євро/т кукурудзиння. Результати оцінки техніко-економічних показників проекту із заготівлі 12 тис. т/рік побічної продукції рослинництва наведені у табл. 4.36. Простий термін окупності проекту становить 4,1 років за собівартості тюків 18 євро/т.

Таблиця 4.36

**Техніко-економічні показники проекту заготівлі тюків побічної продукції рослинництва**

Показники	Величина	
	солома пшениці	кукурудзиння
Продуктивність по тюкам біомаси	6000 т/рік	6000 т/рік
Вартість сировини	6,5 євро/т <sup>1)</sup>	8,8 євро/т <sup>1)</sup>
Капітальні витрати	581 тис. євро	
Експлуатаційні витрати	173 тис. євро/рік	
Кредитні кошти (частка капітальних витрат)	60 %	
Ставка по кредиту	7 %	
Собівартість тюків	18 євро/т <sup>2)</sup>	
Продажна ціна тюків біомаси	25 євро/т без ПДВ	
Простий термін окупності	4,1 років	
Дисконтований термін окупності (ставка дисконту 7 %)	4,4 років	
Внутрішня норма доходності (IRR)	24,1 %	

<sup>1)</sup> ціна побічної продукції рослинництва визначається за вартістю еквівалентних доз мінеральних добрив для заміни поживних елементів у біомасі;

<sup>2)</sup> собівартість тюків включає прямі витрати на заготівлю біомаси, відрахування на амортизацію техніки та виплати процентів по кредиту

Джерело: розрахунки авторів

Для вторинної сільськогосподарської біомаси ущільнення не проводять, а лише за необхідності здійснюють її транспортування на переробні підприємства. Для цього використовують наявні навантажувачі, вантажні автомобілі або трактори з причепами. До зберігання вторинної сільськогосподарської біомаси, яка буде перероблять у тверді біопалива, використовують підходи аналогічні до зберігання соломи.

Для збільшення ефективності логістичних операцій та розширення можливості енергетичного використання сільськогосподарську біомасу гранулюють для отримання пелет. При переробці поживних решток, лушпиння соняшнику, очерету можна використовувати типову схему виробництва пелет із соломи, яка влючає подрібнення сировини у декілька стадій, підготовка, гранулювання, охолодження, просіювання та пакування.

Залежно від розміру вхідної сировини використовують різні подрібнювачі. Крім цього, у разі використання сировини з вологістю більшою за граничну, яку висуває виробник прес-грануляторів виробничої лінії, з'являється потреба у застосуванні сушарки.

Солома, що поступає на виробництво у вигляді тюків, подрібнюється в дві, а інколи і в три стадії. На першій стадії тюк розділяється на окремі частини та солома подрібнюється до фракції довжиною приблизно 5 – 25 мм за допомогою соломорізки-подрібнювача тюків. На наступних стадіях солома подрібнюється до фракції не більше 1 – 2 мм, для чого переважно використовуються молоткові дробарки.

Основною виробничою стадією є гранулювання подрібненої сировини. Ця стадія реалізується в пресах-грануляторах, які за конструкцією бувають з плоскими або кільцевими матрицями. Процес утворення пелети полягає у спресуванні подрібненої біомаси, що попадає в канал пресування, в результаті взаємодії ролика та шару матеріалу між роликом та матрицею. Процес тертя викликає додаткове розігрівання матеріалу та активізацію лігніну, який є природною зв'язуючою речовиною і міститься у складі біомаси, що зрештою призводить до утворення щільної однорідної пелети циліндричної форми. Загалом, вважається, що аграрна біомаса містить менше лігніну, ніж деревина (14 – 17 % порівняно з 25 – 30 %), тому гірше гранулюється. Тому, іноді у виробництві пелет виникає необхідність у застосуванні спеціальних зв'язуючих речовин.

Для забезпечення механічної міцності пелети вологість сировини повинна знаходитись заданому діапазоні. Так, оптимальне значення вологості соломи при гранулюванні не повинно перевищувати 14 %. При зростанні вологості падає продуктивність виробничої лінії, ростуть питомі витрати електроенергії на виробництво пелет.

Пелети, отримані в пресі-грануляторі, мають високу температуру (іноді до 130°C) та м'яку консистенцію, тому далі вони за допомогою елеватора подаються для охолодження в протитечійний охолоджувач, де охолоджуються потоком повітря, що проходить через їх шар, до температури 20 – 25°C.

Після охолодження пелети подаються на просіювач, де відділяються мілкі частки та некондиційні пелети. Відсіяні частки шнеком повертаються в бункер перед гранулятором.

Далі пелети елеватором подаються в бункер готової продукції, звідки поступають на пакування в бункер перед дозатором, або в силос для безтарного зберігання. Пакування пелет можливе в біг-беги (по 1 тоні), або в мішки меншої ваги. Як правило, також можливе відвантаження пелет насипом в машини.

Техніко-економічні показники проектів із виробництва пелет продуктивністю 5 т/год із сільськогосподарської біомаси наведені у табл. 4.37. Найменший простий термін окупності складає 2,8 роки для виробництва гранул з лушпиння соняшнику, тоді як простий термін окупності проектів виробництва гранул з соломи та стебел кукурудзи становить 4,1 років.

Паливні брикети в Україні виробляються у менших обсягах ніж пелети, у тому числі з огляду на складності із організацією їх автоматичної подачі. При цьому в якості сировини в основному використовують деревину, лушпиння, солому та очерет. Паливні брикети характеризуються різноманітністю форм. Зв'язуючою речовиною виступає лігнін, що міститься у вхідній сировині. Загалом, виділяють три типи паливних брикетів: NESTRO, RUF та Pini&Kay.

1. NESTRO (NIELSEN) – довгі циліндричної форми або багатокутного перерізу переважно без внутрішнього отвору, отримані за рахунок високого тиску. Брикети NESTRO виробляють на гідравлічних пресах, а NIELSEN – на ударно-механічних пресах.

2. RUF – пресовані куби-цеглини, які виробляють на гідравлічних пресах за рахунок високого тиску.

3. Pini&Kay – мають циліндричну або багатогранну форму з отвором всередині. Таке біопаливо виробляють екструдерним способом на шнекових пресах при одночасному нагріві поверхні брикету.

Виробництва брикетів із біомаси простіше та потребує менше первинних інвестицій у обладнання порівняно із пелетами. Його також розміщують локально поблизу місць концентрації сировини.

Перед брикетуванням сировину необхідно подрібнювати та за необхідності сушити до заданої вологості. Виділяють декілька типів прес-брикетувальників: гідравлічні і механічні (штемпельні та шнекові), які можуть використовувати різноманітні види біомаси.

Таблиця 4.37

**Техніко-економічні показники виробництва та реалізації гранул з аграрної сировини на внутрішньому ринку**

Показник	Виробництво гранул з соломи зернових	Виробництво гранул зі стебел кукурудзи	Виробництво гранул з лушпиння соняшника
Вартість сировини, євро/т без ПДВ	18 <sup>1)</sup>	18 <sup>1)</sup>	5 <sup>1)</sup>
Продуктивність лінії гранулювання, т/год.	5,0	5,0	5,0
Виробники обладнання	Основне обладнання від провідних світових виробників, допоміжне – українське		Все обладнання-західноєвропейське
Тривалість роботи підприємства:	9 міс./рік, 24 год./добу		10 міс./рік, 24 год./добу
Загальні інвестиції, млн. євро	2,6	2,6	2,6
Собівартість гранул, євро/т	44,3	44,3	22,0
Ринкова ціна гранул, євро/т без ПДВ	61,3 <sup>2)</sup>	61,3 <sup>2)</sup>	48
Економічні показники:			
При будівництві за власні кошти:			
IRR, %	23	23	36
Простий строк окупності, років	4,1	4,1	2,8
При будівництві за власні та кредитні кошти (кредит 60 % кап. витрат, під 8 % річних, на 8 років, з відстрочкою виплати тіла кредиту на 1 рік)			
IRR, %	20	20	33
Простий строк окупності, років	4,8	4,8	3,1

<sup>1)</sup> собівартість тюкованої соломи зернових або стебел кукурудзи з доставкою до заводу;

<sup>2)</sup> прогнозна ринкова вартість, визначена з урахуванням паливних властивостей

Джерело: розрахунки авторів

На ринку представлене обладнання широкого діапазону продуктивності, починаючи від 50 кг/год. Вибір конкретної моделі залежить від характеристик сировини, рекомендованої заводом-виробником. Так, шнекові прес-брикетувальники Biomasser можуть працювати із сировиною, яка має вологість від 10 до 30 %. Саме таку вологість має солома при належному зберіганні, а тому не потрібно використовувати сушарки.

Техніко-економічні показники проекту із виробництва паливних брикетів із соломи продуктивністю 320 кг/год. на базі наявних у агровиробника приміщень наведені у табл. 4.38.

Таблиця 4.38

**Техніко-економічні показники виробництва та реалізації брикетів з соломи**

Показники	Величина
Продуктивність	640 т/рік
Вартість сировини	18 євро/т без ПДВ
Капітальні витрати	40 тис. євро
Експлуатаційні витрати	23 тис. євро/рік
Кредитні кошти (частка капітальних витрат)	60 %
Ставка по кредиту	7 %
Продажна ціна брикетів	66 євро/т без ПДВ
Простий термін окупності	2,3 роки
Дисконтований термін окупності (ставка дисконту 7 %)	2,5 років
Внутрішня норма дохідності (IRR)	44 %

Джерело: розрахунки авторів

Паливні брикети із соломи можуть бути реалізовані населенню для використання у твердопаливних котлах як заміник вугілля. Простий термін окупності виробництва паливних брикетів з соломи складає 2,3 роки.

**4.11. Вирощування енергетичних культур для виробництва твердих біопалив та теплової енергії. Енергетичний, екологічний та економічний аспекти**

© Трибой О. В.

*м.н.с., Інститут технічної теплофізики Національної академії наук України, Київ, Україна*

© Желєзна Т. А.

*к.т.н., ст.н.с., Інститут технічної теплофізики Національної академії наук України, Київ, Україна*

© Крамар В. Г.

*Інститут технічної теплофізики Національної академії наук України, Київ, Україна*

Вирощування енергетичних культур в Україні є перспективним напрямком отримання твердих біопалив для подальшого енергетичного використання, зокрема, виробництва теплової енергії. За даними Біоенергетичної асоціації України, в країні доступні до 4 млн га вільних сільськогосподарських земель, половина з яких може бути використана для сталого вирощування енергетичних культур [1]. Екологічна, економічна та соціальна ефективність вирощування енергетичних рослин може бути досягнута за умови дотримання критеріїв сталості, розроблених Глобальним біоенергетичним партнерством [2]. Правильний підбір ділянки та енергетичної культури має ключовий вплив на подальшу ефективність плантації енергетичних рослин. На урожайність енергетичних рослин безпосередньо впливає відповідність характеристик конкретного сорту, таких як потреба у воді, морозо- та посухостійкість наявним кліматичним та ґрунтовим умовам земельної ділянки, обраної для вирощування плантації (табл. 4.39).

Таблиця 4.39

**Характеристики енергетичних культур відносно умов вирощування**

Культура	Температура, °С			Потреба у воді	Морозостійкість	Посухостійкість
	проростання насіння	ріст культури				
		min	max			
<b>Швидкозростаючі деревні культури</b>						
Верба	–	0	30	висока	висока	низька
Тополя	–	0	30	середня	середня	середня
Евкالیпт	–	5	35	висока	низька	висока
<b>Багаторічні трави</b>						
Двокісточник тростиноподібний	> 7	7	30	висока	висока	низька
Просо прутковидне	> 15	10	35	середня	висока	середня/висока
Міскантус	> 8	10	40	середня/ висока	середня	низька
Арундо тростинний	> 5	5	35	середня	низька	середня/висока
Артишок іспанський	> 5	5	35	низька	низька	висока

*Джерело: [3]*

Для країн ЄС за останні 20 років була проведена низка досліджень вирощування різних рослин у якості енергетичних та визначені найбільш перспективні культури для різних кліматичних зон. Для континентальної зони вважаються доцільними такі багаторічні енергетичні культури, як верба, тополя, міскантус, двокісточник тростинний, сорго; для півночі середземномор'я – тополя, міскантус; для півдня середземномор'я – арундо тростинний, евкالیпт [3]. За даними Європейської біомасової асоціації АЕВІОМ, сумарна площа енергетичних культур, що вирощувалися у країнах ЄС у 2017 р., складала 50764 га [4].

В Україні енергетичні культури вирощуються переважно на дослідних ділянках освітніх та наукових установ, зокрема Національної академії наук України (НАНУ), Національної академії аграрних наук України (НААНУ) та Лісівничої академії наук України (ЛАНУ). Зокрема, в Національному ботанічному саду ім. М. М. Гришка сформовано одну з найбагатших в Європі колекцій енергетичних рослин, що налічує 457 таксонів, з яких 180 – перспективні для виробництва твердого біопалива [5]. Починаючи з 2010 р., почали створюватись і промислові плантації енергетичних культур, зокрема, верби, тополі і міскантусу, сукупна площа плантацій яких станом на 2016 р. складала більше 4000 га [6]. З 2013 р. Державний реєстр сортів рослин, придатних для поширення в Україні [7], поповнили сорти біоенергетичного напрямку використання, рекомендовані для вирощування у таких зонах, як Полісся, Лісостеп, Степ. До чинного Реєстру сортів рослин України (станом на 06.03.2018 р.) наразі входять: 4 сорти міскантусу гігантського; 2 – міскантусу цукроквіткового; 2 – міскантусу китайського; 2 – проса прутковидного; 3 – верби прутковидної; 1 – верби білої; 1 – павловнії та 1 – редьки олійної (табл. 4.40).



Таблиця 4.40

**Перелік сортів рослин для біоенергетичного напрямку використання із Державного реєстру сортів рослин (чинний станом на 06.03.2018 р.)**

Назва сорту	Рік реєстрації	Рекомендована зона вирощування	Код власника
Верба прутувидна <i>Salix viminalis</i> L. – <i>Salix rossica</i> Nas. р.р.			
LINNEA/LINNEA	2014	ПЛС	1745
Wilhelm/Wilhelm	2014	С	1947
Панфильська 2/Panfyl's`ka 2 [8, с. 396]	2014	ПЛ	1767
Марцияна/Martsyiana	2013	П	1819
Верба тритичинкова <i>Salix triandra</i> L.			
Панфильська/Panfyl's`ka [8, с. 396]	2014	ПЛ	1767
Верба біла <i>Salix alba</i> L.			
CORVINUS/Corvinus	2016	ПЛС	1865
Міскантус гігантський <i>Miscanthus x giganteus</i> J. M. Greef & Deuter ex Hodkinson & Renvoiz			
Верум/Verum	2014	ПЛС	1955
Біотех/Biotekh	2017	СЛП	191
Осінній зорецвіт/Osinnii zoretsvit	2015	ЛП	1751
Гулівер/Huliver	2015	ПЛ	348
Міскантус цукрокрітковий <i>Miscanthus sacchariflorus</i> (Maxim) Benth.			
Снігова королева/Snihova koroleva	2015	ПЛ	1751
Снігопад/Snihopad	2015	ПЛ	348
Просо прутоподібне <i>Panicum virgatum</i> L.			
Морозко/Morozko	2015	ЛП	1751
Зоряне/Zoriane	2015	ЛП	348
Міскантус китайський <i>Miscanthus sinensis</i> Anderss.			
Місячний промінь/Misiachnyi promin	2015	ЛП	1751
Велетень/Veleten	2017	ЛП	348
Павловнія <i>Paulownia</i> Sieb. et Zucc.			
Ін Вітро 112/In Vitro 112	2017	СЛП	2280
Редька олійна <i>Raphanus sativus</i> L. var. <i>oleiformis</i> Pers.			
КИЯНОЧКА/КУЯНОЧКА	2017	ЛП	348

Позначення: П – Полісся; Л – Лісостеп; С – Степ

Код/Назва власника: 191 – Мельничук Максим Дмитрович, 348 – Національний ботанічний сад ім. М. М. Гришка НАНУ, 1745 – Лантманнен СВ Сід АБ (Швеція), 1751 – Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААНУ, 1767 – Панфильська дослідна станція Національного наукового центру “Інститут землеробства НААНУ”, 1819 – ТОВ “Салікс Енерджі”, 1865 – Шільвануш Чопорт Кфт. (Угорщина), 1947 – Юреплен Віллов Брідінг АБ (Швеція), 1955 – ТОВ “ЕНЕРГО АГРАР”, 2280 – Ін Вітро СЛ (Іспанія).

Джерело: узагальнено авторами

Серед швидкозростаючих деревних енергетичних культур найбільш поширеними в багатьох країнах Європи, в т.ч. і в Україні, є верба (*Salix viminalis* L.) та тополя (*Populus* sp. L.). Існує також низка інших швидкозростаючих дерев з коротким оборотом рубки, таких як акація біла (*Robinia pseudoacacia* L.), евкالیпт (*Eucalyptus*), вільха (*Alnus glutinosa* (L.) Gaerth), ясен (*Fraxinus*), береза (*Betula pendula* Roth.), проте досвід їх вирощування для потреб енергетики наразі є обмеженим.

Верба – рід дерев, кущів або напівкущів родини вербових, до якого відносять загалом близько 400 видів. Для потреб енергетики зазвичай вирощують швидкозростаючий сорт верби прутувидної (*Salix viminalis*). Для комерційного вирощування звичайно використовують селекційні сорти верби, що характеризуються більш швидкими темпами щорічного приросту біомаси на 1 га, підвищеною стійкістю до шкідників та збудників хвороб рослини, морозостійкістю та мінімальними вимогами до ґрунтів. Енергетична верба дозволяє створювати високопродуктивні плантації з продуктивним терміном до 25 – 30 років (табл. 4.41).

Окрему категорію енергетичних рослин складають багаторічні трави, такі як Міскантус (*Miscanthus x giganteus* J. M. Greef & Deuter ex Hodkinson & Renvoiz), просо прутоподібне (*Panicum virgatum* L.), сорго багаторічне (*Sorghum almum* Parodi), сільфій пронизанолистий (*Silphium perfoliatum* L.), сіда багаторічна (*Sida hermaphrodita* Rusby), Щавнат (*Rumex patientia* L. x *Rumex tianshanicus* A. Los.). Найбільшу розповсюдженість в країнах ЄС отримав Міскантус – багаторічна трава, яка походить з Азії. Після одноразової посадки культуру можна збирати щорічно протягом 15 і більше років з середньою врожайністю близько 10 т/га сухої маси.

Таблиця 4.41

**Узагальнені результати польових досліджень верби, проведених, 2007 – 2013 рр.**

Установа	Сорти верби	Вік плантації, років	Агро-екологічна зона	Щорічний врожай, свіж. т/га	Щорічний врожай, сух. т/га
Боярське лісництво	<i>Salix viminalis</i> L.	2	Полісся	40,7	–
	<i>S. pentandra</i> L.	2	Полісся	9,2	–
	<i>S. purpurea</i> L.	2	Полісся	18,3	–
	<i>S. triandra</i> L.	2	Полісся	19,3	–
Панфільська дослідна станція	<i>S. triandra</i> L.	7	Лісостеп	50,11	24,68
	<i>Salix viminalis</i> L.	7	Лісостеп	45,94	23,41
	<i>S. cinerea</i> L.	7	Лісостеп	20,38	11,03
Харківський національний аграрний університет	<i>S. matsudana</i> Koidz.	2	Лісостеп	33	–

Джерело: [9; 10; 11]

Ділянка для плантації енергетичних культур повинна враховувати такі основні аспекти: клімат, ґрунти, доступність води, доступність доріг, розмір плантації, розташування у ландшафті, які в подальшому можуть бути уточнені відповідно до обраної енергетичної рослини.

В Україні вирощування енергетичних культур, внесених до Державного реєстру сортів рослин, можливе на землях сільськогосподарського призначення. Проте, проекти з вирощування швидкозростаючих енергетичних рослин на тверді біопалива повинні відповідати принципам сталого розвитку, на що сьогодні звертають увагу інституції ЄС при виділенні кредитних ресурсів, технологій, закупівлі виробленої сировини (деревної тріски чи гранул), тощо. Так, згідно Директиви 28/2009/ЄС, плантації енергетичних культур слід закладати на землях, що не використовуються для вирощування продовольчих чи кормових культур. Водночас, менша вибагливість енергетичних культур до ґрунтово-кліматичних умов дозволяє вирощувати їх на землях з обмеженням щодо кількості культиваций та обробітків (IV клас придатності) та на землях, непридатних до ведення сільського господарства (V клас придатності).

Для оцінки енергетичної ефективності використання біомаси плантацій для виробництва тепла, розглянуто повний цикл від вирощування енергетичних культур до утилізації отриманих твердих біопалив на котельній установці. Повний цикл всіх врахованих технологічних операцій ще називають життєвим циклом або системою продукту, що має певні межі. Границі системи виробництва теплової енергії з енергетичних культур наведено на рис. 4.35.

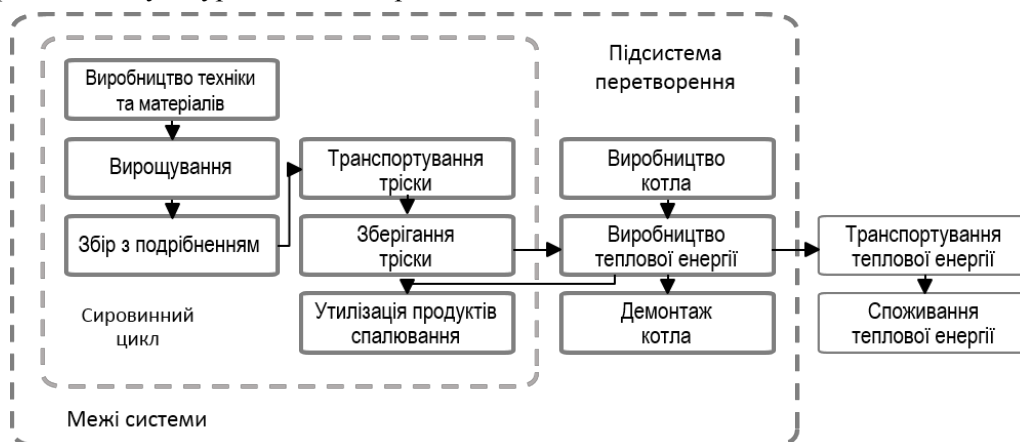


Рис. 4.35. Життєвий цикл виробництва теплової енергії з енергетичних біомаси культур

Джерело: узагальнено авторами

У якості показника енергетичної ефективності використано коефіцієнт перетворення невідновлюваної енергії  $E_{Y_{NR}}$  [12], який показує у скільки разів енергії на виході (СЕР) (див. рівняння (4.61) та (4.62)) із системи продукту отримано більше, ніж витрачено сукупно невідновлюваної енергії ( $CE_{D_{NR}}$ ) у всіх технологічних процесах життєвого циклу, включаючи витрати

первинної енергії під час операцій сировинного циклу ( $E_{\text{сир}}$ ) та у підсистемі перетворення біопалива в теплову енергію ( $E_{\text{пер}}$ ) (рівняння (4.63), (4.64), (4.65)).

$$E_{\text{УС}} = CEP / CED_{\text{NR}}, \quad (4.61)$$

де CEP – виробництво теплової енергії котельною установкою, ГДж/рік;  
CED<sub>NR</sub> – сукупні приведені витрати невідновлюваної енергії, ГДж/рік.

$$CEP = \sum W_i \cdot \tau_i, \quad [\text{ГДж/рік}] \quad (4.62)$$

де  $W_i$  – потужність установки в певний період її роботи ( $\tau_i$ ), МВт;  
 $\tau_i$  – річне завантаження установки, год./рік.

$$CED_{\text{NR}} = E_{\text{сир}} + E_{\text{пер}}, \quad [\text{ГДж/рік}] \quad (4.63)$$

де  $E_{\text{сир}}$  – витрати первинної енергії під час операцій сировинного циклу, ГДж/рік;

$E_{\text{пер}}$  – витрата первинної енергії у підсистемі перетворення біопалива в теплову енергію, ГДж/рік.

$$\left\{ \begin{array}{l} E_{\text{сир}} = \sum_{i=1}^n E_i; \\ E_{\text{мо}} = \frac{(\sum_{j=1}^n b_{\text{мо}j} \cdot Q_p^H + \sum_{k=1}^n l_{\text{тр}k}^b \cdot Q_p^H + \sum_{l=1}^n l_{\text{тмл}}^m \cdot \alpha_{\text{тмл}})}{k_p}; \\ E_{\text{тр1}} = E_{\text{т} \cdot \text{км1}} \cdot B \cdot n_1; \\ E_{\text{тр2}} = (B + A) \cdot E_{\text{т} \cdot \text{км2}} \cdot n_2; \\ E_{\text{ван}} = 2,5 \cdot B \cdot b_{\text{ван}} \cdot Q_p^H; \\ E_{\text{збер}} = \frac{72 \cdot B \cdot e_{\text{збер.нав}}}{\tau}. \end{array} \right. \quad (4.64)$$

де  $E_{\text{мо}}$ ,  $E_{\text{тр}}$ ,  $E_{\text{ван}}$ ,  $E_{\text{збер}}$  – споживання первинної енергії відповідно при: польових механізованих операціях з вирощування та збору з подрібненням енергокультури; транспортуванні твердого біопалива; операціях з вантаження/розвантаження; зберіганні біопалива, ГДж/рік;

$b_{\text{мо}}$ ,  $b_{\text{тр}}$ ,  $b_{\text{ван}}$  – питомі витрати дизельного палива під час польових механізованих операцій, транспортування та навантаження сировини чи технологічних матеріалів, л/га (л/т);

$l_{\text{тмл}}$  – питома маса технологічних матеріалів, кг/га;

$\alpha_{\text{тмл}}$  – енергетичний еквівалент хімічної речовини (добрив, пестицидів), МДж/кг<sub>д.р.</sub>;

$S$  – площа плантації, га;

$k_p$  – період експлуатації плантації, років;

$B$  – річна витрата біопалива, т/рік;

$Q_p^H$  – нижча теплота згорання дизельного пального, МДж/л (36,1 МДж/л);

$A$  – кількість золи, що утворюється, т/рік;

$E_{\text{т} \cdot \text{км}}$  – енергоємність транспортних робіт, МДж/т·км;

$n$  – відстань транспортування біомаси від місця її збору до центрального складу та від центрального складу до споживача, км (перша відстань приймається на рівні 5 км, друга – є змінною величиною), км;

$\tau$  – річне завантаження установки, год./рік;

$e_{\text{збер.нав}}$  – питомі витрати первинної енергії при будівництві навісу для зберігання біопалива, МДж/т.

$$E_{\text{пер}} = E_k / k_k + E_{\text{екс.}} + E_{\text{ел.}}, \quad [\text{ГДж/рік}] \quad (4.65)$$

де  $E_{\text{пер}}$  – витрата первинної енергії у підсистемі перетворення палива в теплову енергію, ГДж/рік;

$E_k$  – витрати первинної енергії на стадії спорудження та демонтажу установки, ГДж;

$k_k$  – розрахунковий період експлуатації установки, років;

$E_{\text{екс.}}$  – витрати первинної енергії на ремонт та обслуговування котельного обладнання, ГДж/рік;

$E_{\text{ел.}}$  – власне енергоспоживання установки, ГДж/рік.

Згідно рекомендацій Міжнародного енергетичного агентства, зокрема результатів виконання Завдання 32 у секції Біоенергетика, для досягнення сталого розвитку біоенергетики у майбутньому коефіцієнт перетворення енергії  $E_{\text{УС}}_{\text{NR}}$  для енергоустановок на ВДЕ має складати як мінімум більше 2 ( $E_{\text{УС}}_{\text{NR}} > 2$ ), а рекомендоване значення – більше 5 ( $E_{\text{УС}}_{\text{NR}} > 5$ ) [12].

Оцінка енергетичної ефективності використання біомаси плантацій енергетичних культур для виробництва теплової енергії була виконана для верби та міскантусу. Витрати первинної енергії під час сировинного циклу були розраховані відповідно до технологічних карт цих енергетичних культур (табл. 4.42).

**Технологічна карта вирощування верби і міскантусу**

Рік	Сільськогосподарські операції	Строки проведення операцій, міс.	Техніка		
			Міскантус (М)	Верба (В)	
<b>1. Основний обробіток ґрунту</b>					
0 рік	Дискування на глибину до 12 см	VIII	ХТЗ-242К + БДВП-5,5		
	Транспортування води для приготування гербіциду	VIII	John Deere 6930 + P3C-6		
	Приготування та внесення гербіциду	VIII	МТЗ-892 + Харді Ренджер		
	Транспортування мінеральних добрив	IX	John Deere 6930 + 2ПТС-6		
	Внесення добрив	IX	ХТЗ-242К + РУМ-8		
	Оранка на глибину до 30 см	IX	John Deere 8360R + KUHN-6 корп.		
<b>2. Передпосадковий обробіток ґрунту та посадка</b>					
1-й рік	Передпосадкова культивування	IV	ХТЗ-242К + КПС-8		
	Підготовка та завантаження саджанців	IV	вручну		
	Транспортування саджанців верби/ризом міскантусу	IV	John Deere 6930 + 2ПТС-6		
	Посадка	IV	МТЗ-892 + КСН-Л-202	John Deere 8360R + Egedal 4 рядн.	
	<b>3. Догляд за насадженнями</b>				
	1-е, 2-е досходове боронування на 3 – 5 см	IV, V	МТЗ-892 + БПН-12		
	Транспортування води для приготування гербіциду	V (М); IV (В)	John Deere 6930 + P3C-6		
	Приготування та внесення гербіциду	V (М); IV (В)	МТЗ-892 + Харді Ренджер		
	Міжрядний обробіток ґрунту фрезою між суміжними рядками	V		ХТЗ-242К + Celli Ranger 400	
	Міжрядне дискування	V		John Deere 6930 + ЛСД-3,7	
Транспортування води для приготування гербіциду	VI (М); V (В)	John Deere 6930 + P3C-6			
Приготування та внесення гербіциду	VI (М); V (В)	МТЗ-892 + Харді Ренджер			
Міжрядне дискування	VI	John Deere 6930 + ЛСД-3,7			
<b>4. Збір біомаси</b>					
1-й рік, далі щорічно (М); 3-й рік, далі кожен 3-й рік (В)	Збір біомаси	XI	Claas Jaguar	Claas Jaguar + HSAB's SRC Chipping Head	
	Транспортування біомаси	XI	John Deere 6930 + 2ПТС-6		
2-й рік, далі щорічно (М); 3-й рік, далі кожен 3-й рік (В)	Транспортування води для гербіциду (2-й рік)	V	John Deere 6930 + P3C-6		
	Приготування та внесення гербіциду (2-й рік)	V	МТЗ-892 + Харді Ренджер		
	Транспортування мінеральних добрив	V		John Deere 6930 + 2ПТС-6	
	Приготування та внесення добрив	V		John Deere 8360R + ВНЦ-20	
20-й рік (М), (В)	Ліквідація плантації		ХТЗ-242К + БДВП-5,5	John Deere 6930 + Multiforst	

Джерело: авторська розробка

На основі залежностей (4.61), (4.62), (4.63), (4.64) та (4.65) було проведено дослідження енергетичної ефективності виробництва теплової енергії у котлі потужністю 500 кВт з використанням якості палива тріски таких енергетичних культур, як верба та міскантус. У табл. 4.43 наведені значення всіх складових витрат первинної енергії протягом життєвого циклу використання тріски енергетичних культур. Значення всіх показників, отримані в даному розрахунку (табл. 4.43), відповідають рекомендованим діапазнам ( $EUC_{NR} > 5$ ) [12]. Результати розрахунків показують, що впровадження котла на трісці верби та трісці міскантуса є доцільним з енергетичної точки зору.

Таблиця 4.43

**Витрати первинної енергії протягом життєвого циклу виробництва теплової енергії з тріски з енергетичних культур, ГДж/рік**

Витрати первинної енергії	Верба				Міскантус			
	1. Витрата палива (тріска)	6333						
2. Обробіток ґрунту	6,49				4,52			
3. Посадка	13,37				19,36			
4. Внесення добрив (включаючи мінеральні добрива)	71,38 (66,22)				39,63 (38,69)			
5. Внесення гербіциду (включаючи гербіциди)	2,78 (2,20)				1,38 (0,73)			
6. Транспортування води (для гербіциду та міндобрив), посадкового матеріалу, міндобрив, біомаси	10,90				38,54			
7. Збір з подрібненням у тріску за цикл 20 років	31,20				51,61			
Всього за етап вирощування та збору	136,12				155,04			
8. Вантаження-розвантаження тріски	38,12				25,41			
9. Складування та зберігання тріски	2,1				1,4			
10. Спорудження котельної установки (виготовлення обладнання, будівельно-монтажні роботи)	17,7				17,7			
11. Споживання електроенергії котлом	116,3				116,3			
12. Витрати енергії на обслуговування котла персоналом	8,9				8,9			
13. Витрати енергії на ремонтування котла	0,6				0,6			
14. Демонтаж, утилізація обладнання котельної установки	2,2				2,2			
15. Транспортування тріски до споживача та золи до місця утилізації	Відстань транспортування, км							
	0	50	100	250	0	50	250	400
	0	122,4	244,9	612,2	0	81,63	408,1	653
CEД, ГДж/рік	6655	6777	6900	7267	6660	6742	7068	7313
EУС	0,77	0,75	0,74	0,7	0,77	0,76	0,72	0,7
CEД <sub>NR</sub> , ГДж/рік	322	444	567	934	328	409	736	981
EУС <sub>NR</sub>	15,9	11,5	9,02	5,47	15,61	12,5	6,95	5,21

Джерело: розрахунки авторів

З даних табл. 4.43 видно, що найбільші витрати первинної енергії викопного палива відбуваються на стадії вирощування та збору з подрібненням енергетичної культури для виробництва біопалива. Також, вагомими складовими витрат є транспортування вже готового палива у вигляді тріски та виробництво теплової енергії в котельній установці. Витрати енергії на виготовлення, демонтаж, обслуговування та ремонт котельної установки становлять лише 3 % від усіх витрат первинної енергії викопного палива.

Оцінка викидів парникових газів проводилась для повного циклу виробництва теплової енергії з енергетичних культур у вигляді тріски. Скорочення викидів парникових газів (ПГ) розраховувались для системи виробництва теплової енергії у котлі 500 кВт у порівнянні з котлом тієї ж потужності на природному газі. Для розрахунку балансу парникових газів використовувалась методика, запропонована Єврокомісією у своєму звіті з біоенергетики для твердої біомаси та біогазу, що використовуються для виробництва теплової та електричної енергії та охолодження [13]. Методика враховує викиди від таких одиничних процесів, як посадка, збір урожаю, попередня підготовка та транспортування біомаси, а також фінальний етап перетворення в теплову та/чи електричну енергію.

При виробництві теплової енергії із біомаси викиди парникових газів мають порівнюватись з відповідними викидами від систем на викопних паливах ( $EC_{Fh}$ ), що становлять  $80 \text{ гCO}_2\text{-екв/МДж}_{\text{тепл.ен.}}$  ( $EC_{Fh}$ ) згідно звіту Європейської Комісії щодо стану сталого розвитку виробництва теплової, електричної енергії та охолодження із твердої та газоподібної біомаси за 2014 р. [14]. Біоенергетичну технологію можна вважати екологічно доцільною, коли її впровадження зменшує викиди парникових газів у порівнянні з використанням традиційного палива. Кількісну межу щодо зниження викидів ПГ встановила Директива Європарламенту 2009/28/ЕС для рідкого палива з біомаси, а також біогазу, призначеного для використання в галузі транспорту. Відповідно до Директиви, з 1 січня 2018 р. повинно забезпечуватись скорочення не менше 50 % для зазначених видів біопалив, вироблених на установках, введених в експлуатацію до 5 жовтня 2015 р. включно, та не менше 60 %, якщо зазначені види біопалива вироблено на установках, введених в експлуатацію після 5 жовтня 2015 р. [15]. Наразі, на розгляді в Європарламенті знаходиться Пропозиція для оновленої Директиви, відповідно до якої подібна вимога розповсюджуватиметься і на тверді та газоподібні біопалива для виробництва тепла та електроенергії [16]. В Україні вимоги Директиви 2009/28/ЕС відображені в проекті Закону № 7348 від 29.11.2017 “Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо розвитку сфери виробництва рідкого палива з біомаси та впровадження критеріїв сталості рідкого палива з біомаси та біогазу, призначеного для використання в галузі транспорту”.

Відповідно до системи співвідношень (4.66) був проведений розрахунок скорочення викидів парникових газів у повному циклі виробництва теплової енергії з твердої біомаси енергетичних культур в котлі потужністю 500 кВт (табл. 4.44).

$$\left\{ \begin{array}{l} \varepsilon = K_{\text{в.д.}} \cdot \sum E_{\text{диз.}} + K_{\text{в.мін.д.}} \cdot \sum E_{\text{мін.д.}} + K_{\text{в.герб.}} \cdot \sum E_{\text{герб.}} + K_{\text{в.ел.}} \cdot \sum E_{\text{ел.}} ; \\ EC_h = \frac{\varepsilon \cdot B}{Q_1} ; \\ \Delta\varepsilon = \frac{EC_{Fh} - EC_h}{EC_{Fh}} ; \\ \Delta\varepsilon > 60\% . \end{array} \right. , \quad (4.66)$$

де  $\varepsilon$  – викиди ПГ від виробництва твердої біомаси перед її перетворенням у теплову енергію,  $\text{гCO}_2\text{-екв./Тбіом}$ ;

$K_{\text{в.д.}}$ ,  $K_{\text{в.мін.д.}}$ ,  $K_{\text{в.герб.}}$ ,  $K_{\text{в.ел.}}$  – питомі викиди парникових газів при відповідно використанні дизельного пального (становить  $74,1 \text{ гCO}_2\text{-екв/МДж}$ ), мінеральних добрив ( $\text{гCO}_2\text{-екв/кг}_{\text{д.р.}}$ ), гербіцидів ( $\text{гCO}_2\text{-екв/кг}_{\text{д.р.}}$ ), електричної енергії споживачами, які віднесені до 2 класу напруги (становлять  $1,227 \text{ кгCO}_2\text{-екв/кВт}\cdot\text{год.}$ );

$\sum E_{\text{диз.}}$ ,  $\sum E_{\text{мін.д.}}$ ,  $\sum E_{\text{герб.}}$ ,  $\sum E_{\text{ел.}}$  – сумарне споживання відповідно дизельного пального, мінеральних добрив, гербіцидів, електричної енергії;

$EC_h$  – загальні викиди парникових газів при виробництві теплової енергії як кінцевого продукту,  $\text{гCO}_2\text{-екв/МДж}_{\text{вир.}}$ ;

$EC_{Fh}$  – загальні викиди ПГ при використанні викопних палив для виробництва теплової енергії;

$Q_1$  – річне виробництво теплової енергії котельною установкою, МДж/рік;

$B$  – річна витрата палива, МДж<sub>тепл.</sub>/т;

$\Delta\varepsilon$  – скорочення викидів парникових газів при виробництві теплової енергії із біомаси, %.

Таблиця 4.44

**Баланс викидів парникових газів протягом життєвого циклу виробництва теплової енергії з тріски з енергетичних культур в котлі потужністю 500 кВт**

Стадія життєвого циклу	Викиди ПГ, т $\text{CO}_2\text{-екв/рік}$	
	Верба	Міскантус
Обробіток ґрунту	0,28	0,2
Посадка	0,1	0,04
Внесення добрив (включаючи мінеральні добрива)	4,92 (4,69)	3,61 (3,57)
Внесення гербіциду (включаючи гербіциди)	0,25 (0,23)	0,09 (0,07)
Транспортування води (для гербіциду та міндобрив), посадкового матеріалу, міндобрив, біомаси	1,27	1,62
Збір з подрібненням у тріску за цикл 20 років	3,0	1,33
Завантажувальні роботи	2,3	1,53
Споживання е/е котлом	13,21	13,21

Продовж. табл. 4.44

Стадія життєвого циклу	Викиди ПГ, т CO <sub>2-екв</sub> /рік							
	Верба				Міскантус			
	0 км	100 км	200 км	500 км	0 км	100 км	200 км	500 км
Транспортування тріски до споживача та золи до місця утилізації	0	16,8	33,6	83,9	0	11,2	22,4	56,0
Викиди парникових газів протягом життєвого циклу використання, $EC_h, \frac{гCO_2-екв}{МДж}$	5,1	8,2	11,3	20,7	4,7	6,7	8,8	15,1
Скорочення викидів парникових газів при виробництві теплової енергії тріски енергетичних культур, %	91,84	86,83	81,83	66,82	92,51	89,17	85,84	75,83

Джерело: розрахунки авторів

Аналіз отриманих результатів показує, що скорочення викидів парникових газів при використанні тріски енергетичних культур є досить високим – 66,8 – 91,8 % в залежності від відстані транспортування біомаси (в розглянутому прикладі – 0 – 500 км).

Основні затрати при вирощуванні плантацій енергетичних культур пов'язані із закупівлею посадкового матеріалу, підготовкою ділянки, посадкою та збором урожаю. Деякі складові затрат можуть бути зменшені, наприклад, за рахунок використання посадкового матеріалу, вирощеного на власній маточній плантації та використання власної наявної сільськогосподарської та транспортної техніки.

Наприклад, затрати на створення та обслуговування плантації міскантусу на ділянці 30 га за умови відсутності інвестицій у техніку складають близько 5825 тис. грн (табл. 4.45).

Таблиця 4.45

Структура затрат при вирощуванні плантації міскантусу на ділянці 30 га, 20 років

Основні інвестиції, грн. з ПДВ	Значення
Інвестиційні витрати:	129568
Витрати на закладку розсадника	129568
Сільськогосподарська техніка	Існуюча
Експлуатаційні витрати:	5695583
Оренда земельної ділянки, 30 га	3019146
Оплата праці	76728
Паливно-мастильні матеріали	44633
Матеріали (мінеральні добрива, засоби захисту рослин, посадковий матеріал)	240448
ТО і поточний ремонт	9475
Оренда техніки (силосний комбайн, вантажівки)	2238300
Кредитні кошти	Не залучаються
Всього	5825151
Ціна реалізації біопалива зі складу, грн./т	900
Ціна дизелю, грн./л	19
Простий строк окупності, років	4
Дисконтований строк окупності, років	5
Внутрішня норма рентабельності, %	33,2

Джерело: розрахунки авторів

При розрахунку використовувалася ставка дисконтування 15 %. Через відсутність інвестицій у придбання техніки, амортизація не враховувалась. Термін окупності проекту виробництва біопалива обчислювався за рахунок прибутку від його продажу. Окупність інвестицій у такому проекті складе 5 років, за умови реалізації біопалива у вигляді тріски міскантусу за ціною 900 грн/т.

На рентабельність проектів з вирощування енергетичних плантацій для виробництва твердих біопалив впливає низка факторів, зокрема технічні аспекти проекту та досягнута урожайність культури протягом життєвого циклу плантації. Також, критично важливою є ринкова ціна на товарні продукти енергетичних плантацій (тріска, гранули), що також може досить суттєво коливатись залежно від країни, регіону, конкуренції, сезону, інших ринкових умов (табл. 4.46).

**Порівняння собівартості вербової тріски з вартістю інших біопалив, 2017 р.**

Вид біопалива	Вартість без ПДВ, грн./т	Калорійність, ГДж/т	Вологість, %
Тріска верби	570 [17]	10	40
Тріска деревна	1000 – 1800	10 – 14	20 – 40
Дрова	700 – 1900	10 – 14,5	40
Брикети деревні	2000 – 3000	15,5 – 17,0	10
Пелети деревні (A1)	3300 – 3500	17,5	10
Пелети деревні (A2)	2600 – 2900	16,5	10
Пелети деревні (без стандарту)	2000 – 2900	15,5 – 16,5	10
Пелети з лушпиння	1000 – 2500	14,0 – 17,5	10
Пелети з соломи	1400 – 2200	14,0 – 15,5	10

*Джерело: розрахунки авторів*

Серед інших ризиків, що можуть суттєво вплинути на окупність, можуть бути підвищення ціни на оренду землі та суттєве зростання вартості пального, необхідного для виконання технологічних операцій життєвого циклу вирощування плантацій енергетичних культур. Враховуючи вищезазначене, оцінка економічної доцільності створення плантацій енергетичних культур може мати різні результати у кожному окремому випадку.

**4.12. Динаміка зміни органічного вуглецю ґрунту при вирощуванні енергетичних культур: наслідки для залишків парникових газів та родючості ґрунту**

© Галицька М. А.

*асистент кафедри загальної та біологічної хімії,  
Полтавська державна аграрна академія, м. Полтава, Україна*

Вуглець виконує планетарну роль в утворенні живої речовини, формуванні ґрунтового покриву та його родючості. Порушення глобального циклу кругообігу карбону, спричинить розбалансування емісійно-депонуальної системи вуглецю, що у свою чергу, згідно тверджень науковців, може спровокувати світову екологічну катастрофу – глобальний парниковий ефект.

Актуальність досліджень циклу вуглецю в наземних екосистемах пов'язана з проблемою оцінки глобальних змін клімату. Згідно з доповіддю Міжурядової групи експертів зі змін клімату (2001 р.), за останні 100 років середня температура земної поверхні підвищилась на 0,6°C, а концентрація вуглекислого газу в атмосфері – на 90 років [4], тому прийняттям Рамкової конвенції ООН у 1992 р. було досягнуто взаємної домовленості об'єднати зусилля держав світового співтовариства у напрямку обмеження викидів парникових газів. Першою міжнародною угодою, яка намітила реальні шляхи скорочення викидів парникових газів, було прийняття Кіотського протоколу (1997 р.). Значення Протоколу можна розглядати як практичний крок на шляху реалізації концепції сталого розвитку та скорочення антропогенного впливу на навколишнє природне середовище.

Хоча основною сферою діяльності, що регулюється Протоколом є промисловість та енергетика, вона також стосується й прогнозування емісій та депонування вуглецю в секторі сільського господарства. Звідси виникає необхідність сформулювати чітке уявлення про цикл карбону в наземних агроекосистемах. Це стосується, насамперед, кількісної оцінки вуглецю, пов'язаного з деструкцією органічної речовини, яка визначає дихання ґрунту, а також з техногенною емісією парникових газів.

З огляду на перманентне підвищення концентрації парникових газів в атмосфері останнім часом, роль ґрунтів в регулюванні вуглецевого режиму ноосфери набуває особливого значення і стає більш рельєфною і значущою.

Багато хто з сучасних вчених спрямовують свої зусилля на дослідження проблем оптимізації балансу органічного вуглецю біосфери і стабілізації його змісту в ґрунтах [1; 2 та ін.]. Крім вивчення особливостей протікання процесів емісії CO<sub>2</sub> в атмосферу і виявлення видаткової складової загального балансу органічної речовини біосфери, досить актуальною проблемою, справедливо вважають, визначення емісійно-оцінного статусу окремих ґрунтових різниць, в залежності від способу та інтенсивності їх використання. У цьому випадку участь ґрунтів в забезпеченні мобілізує і мобілізують цей функції біосфери в круговороті органічного вуглецю, доцільно розглядати в якості ефективного інструменту регулювання його вмісту в атмосфері.



Емісія CO<sub>2</sub> з ґрунту сумарно включає інтенсивність кореневого дихання, мінералізацію органічних речовин і фізико-хімічних процесів. Для оцінки вкладу агроєкосистем в надходження CO<sub>2</sub> в атмосферу, необхідна інформація про сумарну емісію CO<sub>2</sub> з ґрунту за рік.

З огляду на відносно низьку стійкість агроценозів під дією комплексу агротехнічних прийомів, стабілізуюча роль ґрунтів в формуванні високого рівня продуктивності сільськогосподарських угідь останнім часом, набуває нової якості. Значення ґрунтів в формуванні резервуарів і потоків органічної речовини біосфери з одночасним забезпеченням сприятливих екологічних умов для отримання якісної продукції також помітно зростає. При цьому не до кінця вивченими залишаються питання визначення оптимальних параметрів, що обумовлюють фактори, при яких спостерігається мінімальна емісія CO<sub>2</sub> з ґрунту в атмосферу і максимальне його накопичення.

Різні способи землекористування призводять до змін в обмінних процесах у системі атмосфера – рослинний покрив – ґрунти, що впливають на баланс вуглецю як на регіональному та к і національному рівнях.

Основну частину природної емісії парникових газів становить вивільнення CO<sub>2</sub> з поверхні ґрунтів, що за абсолютними величинами є порівняльним з продукцією органічного вуглецю та може в декілька разів перевищувати промислові викиди паливно-енергетичного комплексу. Сучасне потепління клімату спричиняє інтенсифікацію потоку неорганічного вуглецю з поверхні ґрунтів за рахунок біохімічної деградації органічної речовини. У зв'язку з загрозою глобального потепління одним із актуальних завдань сучасності є оцінка інтенсивності процесів мінералізації та складових циклу вуглецю в наземних агроєкосистемах, величини річних потоків вуглекислого газу з різних типів ґрунтів під різними рослинними угрупованнями за рахунок природної емісії неорганічного вуглецю.

У контексті описаних умов, виробництво біопалива є ключовим компонентом стратегії відновлюваної енергетики в Європі та у всьому світі [23]. Однак стійкість систем вирощування біопалива в даний час знаходиться на стадії обговорення [21]. Для створення ланцюга стійкого біоенергоспоживання та з метою мінімізації тиску на глобальні продовольчі ринки, не допускаючи подальших змін у землекористуванні, необхідно сприяти впровадженню у роботу регіональних енергосистем малих біоенергетичних установок для спалювання біомаси отриманої з місцевої сировини. Децентралізоване виробництво енергії сприятиме використанню місцевих ресурсів біомаси, підвищенню рівня місцевої енергетичної безпеки та зменшенню втрат передачі енергії.

Крім того, у рамках реалізації стратегії зниження емісії CO<sub>2</sub> від виробництва біопалива з біомаси, слід розглядати питання вирощування енергетичних культур на маргінальних (деградованих) землях.

У зв'язку з цим, багаторічні біоенергетичні культури можуть бути успішно культивовані в маргінальних районах, що призведе до оптимізації ґрунтового середовища [22]. На територіях з низькородючими ґрунтами та обмеженою доступністю води слід віддавати перевагу багаторічним, а не однорічним біоенергетичним культурам, через більш високий потенціал врожайності та менші вимоги до внесення добрив та пестицидів [13]. З даних умов зменшиться тиск на родючі землі, що використовують для виробництва харчових продуктів та при відновленні родючості деградованих земель, шляхом збільшення вмісту ґрунтового органічного вуглецю (ГОВ).

У даному розділі ми досліджуємо вплив процес накопичення ґрунтового-органічного вуглецю (ОВ) для відновлення родючості ґрунту у процесі вирощування енергетичних культур.

Трав'янисті та дерево-кущові багаторічні біоенергетичні культури можуть забезпечити ряд переваг для природного середовища таких як: секвестрація ґрунтового органічного вуглецю (ГОВ) та безперервне поглинання в ґрунт рослинного Вуглецю через мінімальне порушення ґрунту під час обробки ґрунту. Однак до теперішнього часу не існує єдиної точки зору щодо ролі біоенергетичних культур у процесі пом'якшення наслідків зміни клімату. Хоча деякі автори вважають, що зміна ГОВ повинна враховуватися при кількісному оцінюванні впливу біоенергетичних культур на навколишнє середовище [20], деякі інші стверджують, що потенціал депонування ГОВ багаторічних культур має незначний вплив на баланс парникових газів у порівнянні з використанням його біомаси для заміни викопного палива [2]. Важливо також враховувати, що більша частина ГОВ, накопиченого біоенергетичною культурою, може втрачатися у разі переведення енергетичних плантацій в орні сільськогосподарські землі. Порівняння багаторічних культур для отримання біомаси при однакових екологічних умовах (наприклад, ґрунти та клімат) може бути корисним для оцінки потенціалу накопичення ГОВ. Насправді, на сьогодні, наявна обмежена інформація для порівняння впливу різних багаторічних біоенергетичних культур на динаміку зміни ГОВ, і лише в двох дослідженнях порівнюються можливості зберігання ГОВ трав'янистих та деревних культур за однакових властивостей ґрунту та мікрокліматичних умов [8]. Прогнозовано, що дерево-кущові біоенергетичні культури, мають високий потенціал накопичення ГОВ в порівнянні з трав'яними біоенергетичними

культурами через комбіновану роль коренів у накопиченні решток листового та вегетативного матеріалу в ґрунті. У трав'яних культурах, де вся надземна біомаса видаляється під час заготівлі, основним джерелом Карбону до ґрунту є коренева система, тоді як у деревних культурах як корені так і відмерлі в процесі вегетації рештки є важливими факторами накопичення ГОВ у верхньому шарі ґрунті [14]. Крім того, надземна трав'яна підстилка, більш легко розкладається, ніж кореневий матеріал та має позитивний вплив на стимуляцію фауни ґрунтів (мікро, мезо, макро), яка відіграє важливу роль у транслокації та/або розкладі свіжого детриту, і тому вона прискорює механізми секвестрації Карбону у верхніх шарах ґрунту [19].

Ефективність накопичення ГОВ також залежить від механізмів стабілізації Карбону, які в кінцевому результаті впливають на швидкість руху ГОВ та час перебування в ґрунті. Природне біохімічне відмирання органічних решток отриманих з рослинної та рослинної фауни, вважається одним з основних джерел, що призводить до стабілізації ГОВ в ґрунті. Деякі науковці відстоюють погляд, що персистентність органічного карбону в ґрунті залежить не від молекулярного складу органічної речовини, а переважно від властивостей екосистеми (наприклад, хімічного складу батьківського матеріалу, мікроекологічних умов, методів управління та ін.). Поверхневий заряд органічних сполук, що зумовлюється частинками мулу та глини, а також оксидами металів призводить до хімічного захисту ГОВ [5] та формування ґрунтової агрегатної структури, яка забезпечує фізичний захист ґрунту [3]. Найбільш важливими механізмами стабілізації ГОВ були виділені хімічний і фізичний захист ГОВ, що забезпечується матрицею мінеральних ґрунтів [13] визначив ґрунтову мікрогрупу (30 – 250 мкм) як основну структуру ґрунту, що залучаються до фізичного захисту ГОВ через просторову недоступність ГОВ для мікробів та екзо-ферментів [16]. Крім того, мікробна деградація ГОВ, що містяться в мікроагрегатах, інгібується обмеженням концентрації кисню, оскільки мікроорганізми можуть вижити лише на зовнішній поверхні мікроагрегатів [22]. Ряд дослідників [16; 17; 23; 25] використовуючи С-ізотопний аналіз, виявили, що основний потік ГОВ в ґрунті складався з макроагрегатів (250 – 2000 мкм) це, підтверджує теорію включення ГОВ в мікроагрегати [10]. Як наслідок, фізичний захист ГОВ в межах мікроагрегатів вважається важливим механізмом накопичення ГОВ.

О. В. Частка, адсорбована з мулом та глинистими частинками мікроагрегатів, захищена біохімічним шляхом через невідповідну неперервність (пасивний резервуар С), а решта стабілізується через адсорбцію та хімічне зв'язування на мінеральному ґрунті поверхні.

Аналогічно, частина карбону, що виділяється при порушенні макроагрегатів, є біохімічно захищеними (пасивний карбоновий резервуар), тоді як частка, втрачена після гідролізу кислоти, яка пов'язана з частинками мінеральних ґрунтів (мул та глини та оксиди металів), хімічно захищена та представляє частина повільного карбонового резервуару. Обидва незахищені та захищені ГОВ у мікроагрегатах є найбільш чутливими вуглецевими фракціями до практики управління та зміни місця розташування [10]. Зокрема, запропоновано варіацію фракції ГОВ, яка фізично захищена мікроагрегатами, як ранній індикатор зміни запасів ГОВ [14].

Наявність рослинних залишків кореневої системи багаторічних культур сильно впливає на накопичення ґрунтового вуглецю шляхом надходження значних кількостей органічних речовин у ґрунт. Органічний матеріал, що містить ґрунтовий вуглець, виконує багато функцій, включаючи підвищення здатності ґрунту зберігати і забезпечувати рослинами воду та поживні речовини. Енергетичні культури мають в чотири-п'ять разів більше підземної біомаси, ніж сільськогосподарські рештки.

Отже, видалення біомаси біоенергетичних культур не може суттєво впливати на явище ерозії або негативно впливати на вміст ГОВ. Багаторічні культури підтримують значну біомасу нижче типової висоти різання, а також їх волокнисту кореневу мережу, близьку до допоміжних поверхонь до поверхні ґрунту, в стабілізації ґрунту та секвестрації ГОВ [9]. Тим не менш, інформація про ділянку зростання потрібна для характеристики потоків Вуглецю на територіях, що використовуються для біоенергетичних культур, та прогнозування дихання ґрунту, що впливає на обмін CO<sub>2</sub> в екосистемі [11].

На запас Карбону впливає кількість біомаси, яка виробляється як наземною так і підземною біомасою (рис. 4.36). Відмінності в кореневої біомасі, а також ґрунті Карбону змінюються з глибиною з більшим відсотком кореневої біомаси, зосередженої у верхніх 35 см ґрунтового профілю [17]. Більшість корневих фракцій відрізняються за типами рослинності та глибини ґрунту. Багаторічні культури мають більший об'єм кореневої системи ніж сільськогосподарські рослини. Розповсюдження кореневої маси трьох видів енергетичних культур було зафіксовано до глибини 3,3 м, причому більше 50 % кореневої біомаси зосереджено у верхній 30 см ґрунтового профілю [23]. Відмінності в розподілі кореневої маси серед видів енергокультур пов'язані з відмінностями властивостей росту та типів ґрунтів [23]. Коливання в ГОВ, як правило, більші в верхніх шарах ґрунту, ймовірно, через більший вплив опадів, температури ґрунту, більшої кореневої біомаси та мікробної активності [23].

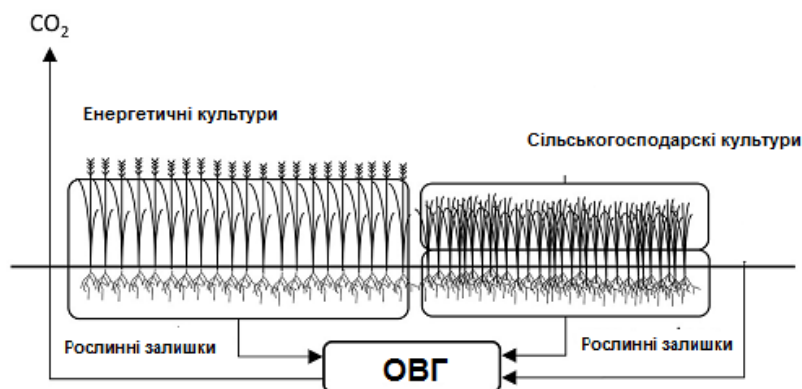


Рис 4.36. Моделювання потоків органічної речовини ґрунту

Джерело: авторська розробка

Відмінні риси кореневої біомаси, вказують на те, що відбір типу енергокультури разом із типом ґрунту може впливати на швидкість секвестрації ГОВ. Найпоширеніше накопичення відбувається під землею, де багаторічна коренева біомаса, додаткові корені та розкладені рештки виступають в якості поглиначів вуглецю для пом'якшення емісії атмосферного CO<sub>2</sub>. Кілька досліджень, присвячених оцінці пулу кореневої біомаси, вказують на те, що основна коренева біомаса, що живить ґрунт, зменшується з глибиною [23], з можливістю того, що сума секвестрації ОВ відповідає тій же схемі. Надземна біомаса та мертві корені відіграють важливу роль у секвестрації карбону і її колообігу [20]. Вміст ОК у надземному підстилку значно відрізнявся серед типів рослинності та більш високим відсотком мертвих коренів у двох культур (кукурудза та соя) через високу швидкість обороту взимку. Ряд авторів [20; 22] зауважили, що більший відсоток кореневої біомаси був зосереджений у верхній 35 см ґрунтового профілю (табл. 4.47).

Таблиця 4.47

Розподіл вуглецю у по ґрунтовому профілю

Культура	Запас вуглецю, кг га <sup>-1</sup>				Всього
	Наземний потік	Підземна біомаса	Відмерлі корені	Живі корені	
Тополя	1,667	17,500	417	3750	23,334
Світчґрас	8,333	1,667	417	3750	14,167
Сезонна трава	1,458	833	417	167	2,875
Соя	625	2,708	208	208	3,749
Кукурудза	1,042	417	208	417	2,084

Джерело: узагальнено автором за даними [20; 22]

Існує необхідність оцінки, як існуючі пули органічних речовин впливають на здатність ґрунту розподіляти карбон під біоенергетичними культурами.

Зміни в пулах ГОВ впливають на якість ґрунту та довготривалу стійкість [25]. Потенційна, досяжна та фактична здатність ґрунтів до секвестрації карбону, як правило, обмежується окремими факторами, які впливають на властивості ґрунту, виробництво біомаси та практику управління (рис. 4.37).

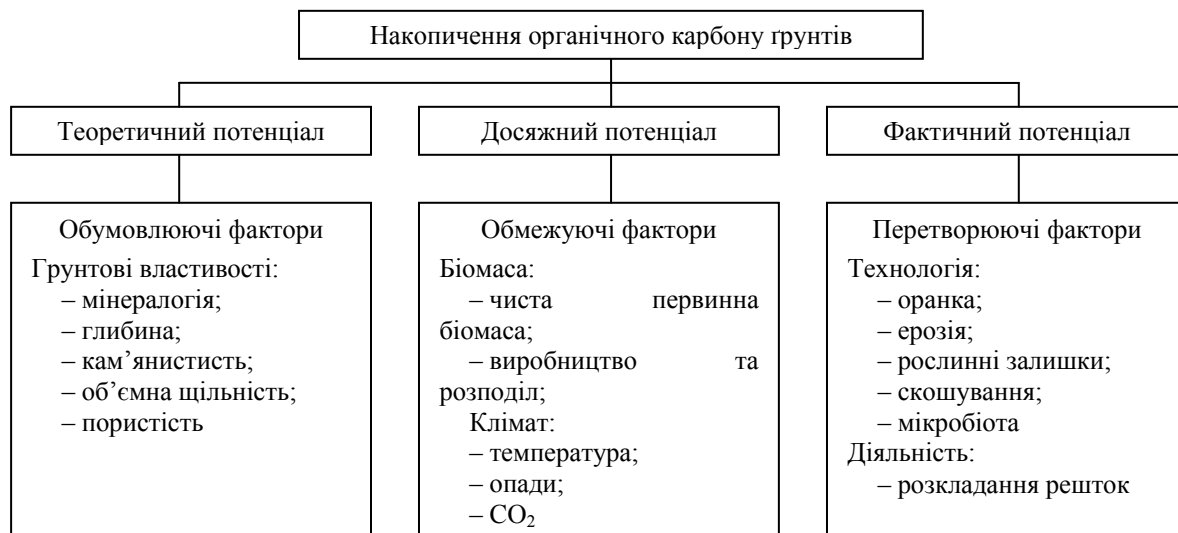


Рис. 4.37. Схема накопичення органічного карбону в ґрунт

Джерело: узагальнено автором за даними [25]

Для енергетичних рослин текстура ґрунту, насипна щільність та тип рослинності мають великий вплив через зв'язок цих властивостей з пулом ГОВ та стабільністю агрегатів. Енергетичні культури мають більш довге коріння глибиною до 30 см, ніж сільськогосподарські культури. Очікувана більша кількість рослинних решток, що залишається, може підтримувати високий рівень вмісту ГОВ в системі. З іншого боку, при зборі вегетативної маси, більша частина біомаси видаляється. Тому лише коріння та мала частка рослинних решток, що повертаються в ґрунт під час процесу збирання, сприяють розвитку ГОВ в системі [8]. ГОВ, що накопичується під біоенергетичними культурами, пояснюється великою кореневою масою в ґрунтового профілі у порівнянні з традиційними культурами, такими як кукурудза. Вуглець впливає на текстуру ґрунту, так і на утримання ГОВ від залишків біоенергетичних культур [24]. Стабільність ГОВ визначається його адсорбцією на частках глини та мулу, що свідчить про те, що ґрунти з високим вмістом глини та мулу можуть сприяти формуванню мікро- та макроагрегатів для подальшого захисту ГОВ [21]. Високоструктуровані ґрунти мають більш високий вміст ГОВ, ніж грубозерністі ґрунти для того ж рівня органічних речовин [5]. Також дослідження показали, що залишки рослин розкладаються більш високими темпами в піщаних, ніж у глинистих ґрунтах [17]. Дрібний мул та грубозерністі частинки глини містять найвищий ГОВ на одиницю маси в порівнянні з тонкою глинистою [1]. Висока поверхнева частинка підвищує утворення органо-мінералогічних комплексів, що захищають органічний вуглець від мікробного окислення [2]. Тому текстура ґрунту контролює кількість вуглецю від залишків рослин, що зберігаються в ґрунті [20].

Отже, з огляду на вищесказане, для реалізації концепції сталого розвитку та раціонального землекористування особливого значення набуває необхідність визначення обсягів емісії CO<sub>2</sub> ґрунтами, виявлення в них закономірностей його продукування і дисипації з урахуванням приналежності до різних угідь з відповідною інтенсивністю використання. Оскільки баланс карбону в агроєкосистемах пов'язаний з асиміляцією CO<sub>2</sub> рослинами в процесі фотосинтезу і емісією, як наслідком гетеротрофного дихання, тому накопичення вуглецю в ґрунті може пом'якшити наслідки парникового ефекту. Енергетичні рослини – перспективний шлях депонування органічного вуглецю ґрунту у сільському господарстві та спосіб реалізації низькокарбоневих технологій у помірних регіонах завдяки високій потенційній продуктивності [21] та перевагам щодо балансу вуглецю та парникових газів [20].

#### **4.13. Економічна і енергетична ефективність технологічних заходів при вирощуванні кукурудзи та сорго цукрового для виробництва біогазу**

© Грабовський М. Б.

*к.с.-г.н., доцент, завідувач кафедри технологій в рослинництві та захисту рослин,  
Білоцерківський національний аграрний університет, м. Біла Церква, Україна*

Енергетичні культури – це рослини, які спеціально вирощуються для використання безпосередньо в якості палива або для виробництва біопалива. На сьогоднішній день в світі не існує єдиної загальноприйнятої класифікації, що застосовується для таких культур. Енергетичні культури розрізняють за наступними категоріями:

- цикл вирощування – однолітні (ріпак, соняшник) та багаторічні (верба, тополя);
- тип – деревоподібні (верба, тополя), трав'яністі (міскантус, просо прутіподібне);
- характеристики й, відповідно, отримуваний кінцевий продукт – олійні (ріпак/соняшник на біодизель), крохмале- та цукрововмісні (цукровий буряк, кукурудза на біоетанол), лігноцелюлозні (верба і тополя для безпосереднього виробництва теплової та електричної енергії);
- “походження” – класичні культури, тобто з самого початку призначені суцього для енергетичних цілей (міскантус, двукісточник тростиноподібний) та звичайні сільськогосподарські культури, що вирощуються як для отримання харчових продуктів, так і з метою виробництва біопалив (ріпак на біодизель, цукровий буряк на біоетанол, кукурудза на біогаз) [8].

Найбільш перспективними сільськогосподарськими культурами, сировина яких може використовуватись для отримання біогазу в Україні, є цукрове сорго (вихід біогазу 17,6 тис. м<sup>3</sup>/га), кукурудза на силос (16 тис. м<sup>3</sup>/га), цукрові (10,9 тис. м<sup>3</sup>/га) та кормові (10,8 тис. м<sup>3</sup>/га) буряки [4].

У сільськогосподарському виробництві, зокрема в рослинництві основним джерелом біогазу є побічна продукція рослинництва. Понад 90 % цієї органічної речовини припадає на соломку та стебла (табл. 4.48).

Найвищий вихід біогазу з тони на основі цих даних спостерігається з відходів таких культур, як стебла кукурудзи на зерно та гичка цукрових буряків – 420 та 426 м<sup>3</sup>/т. Але враховуючи той факт, що виробництво цукрових буряків в Україні децю зменшилося, то найбільшими енергетичною культурою на даний час є кукурудза на зерно.

Таблиця 4.48

**Вихід біогазу з побічної продукції рослинництва в Україні, 2016 р.**

Сільськогосподарські культури	Обсяг продукції доступний для виробництва біогазу, тис. тон	Вихід біогазу, м <sup>3</sup> /т	Вихід біогазу, тис. м <sup>3</sup>	Вага біогазу, тис. т
Пшениця (солома)	11139,7	342	3809777	4,97
Ячмінь (солома)	3780,8	342	1293034	2,04
Кукурудза на зерно (стебла)	23212,2	420	9749124	11,58
Цукрові буряки (гичка)	4315,8	426	1838531	6,07
Соняшник (стебла)	11050,5	180	1989090	3,17
Ріпак (стебла)	2351,7	280	658476	1,19
Картопля (бадилля)	8903,5	350	3116225	7,07
Овочі (гичка, стебла)	5430	300	1629000	6,07

Джерело: [19]

Традиційною культурою для виробництва біогазу в світі є кукурудза на силос, потенціал якої в Україні також є значним. У 2017 р. посівні площі кукурудзи в Україні становили 4,47 млн. га. Кукурудза, що вирощується на силос, завдяки високому виходу сухої маси з 1 га (до 30 т сухої речовини з 1 га) є на сьогоднішній день найбільш використовуваним рослинним субстратом в біогазових проектах. Кліматичні умови дозволяють вирощувати кукурудзу для енергетичних цілей і в Україні. Так, наприклад, при використанні 6 % орних земель під вирощування кукурудзи на біогаз з величиною врожайності 30 т/га і виходом метану 100 м<sup>3</sup>/т, можна отримати 5,4 млрд м<sup>3</sup> СН<sub>4</sub>/рік, а при підвищенні врожайності до 40 т/га і виході метану 115 м<sup>3</sup>/т – 8,3 млрд м<sup>3</sup> СН<sub>4</sub> на рік [9].

Вирощування силосної кукурудзи як сировини для виробництва біогазу є більш економічно вигідним, ніж вирощування кукурудзи на зерно. Так, за сьогоднішньої ціни на зерно кукурудзи 4,3 тис. грн/т та потенційної врожайності зерна 8 т/га, виручка від реалізації становитиме 34,4 тис. грн. Вихід біогазу з 1 га силосної кукурудзи за врожайності 80 т/га становитиме близько 16 тис. м<sup>3</sup>/га або 8,5 тис. м<sup>3</sup>/га метану. За сьогоднішньої ціни на природний газ 7,2 грн/м<sup>3</sup> виручка від реалізації становитиме 61,2 тис. грн/га, тобто у 1,8 разів більшою. При цьому, витрати на вирощування силосної та зернової кукурудзи є приблизно однаковими [13].

Економічно доцільним є використання в якості сировини для виробництва біогазу цукрового сорго, яке можна вирощувати в південних посушливих регіонах України. З одного гектара посівів цукрового сорго можна збирати до 100 т/га цукромісткої біомаси з цукристістю соку до 18 %, що забезпечує потенційний вихід біогазу близько 17,6 тис. м<sup>3</sup>/га. Ранні строки збирання цукрового сорго на енергетичні цілі робить його хорошим попередником для озимих культур. Орієнтовна площа посівів цієї культури в Україні може складати близько 500 тис. га, що забезпечить отримання близько 4,4 млрд. м<sup>3</sup> метану [18].

Останнім часом зростає інтерес до сорго цукрового, як енергетичної культури. Сік з стебел цієї культури, завдяки високому вмісту вуглеводів, є цінною сировиною для виробництва біоетанолу. Вихід соку становить до 60 % від зеленої маси рослини. Після видалення соку вологість стебел цукрового сорго не перевищує 40 %, тому вони можуть бути сировиною для виробництва твердого біопалива (паливних гранул або брикетів), або їх можна використати у біогазових генераторах для отримання біогазу [7; 16].

Метою проведених досліджень було оцінка за економічними та енергетичними показниками ефективності вирощування кукурудзи та сорго цукрового для виробництва біогазу.

Дослідження проводили в навчально-виробничому центрі (НВЦ) Білоцерківського національного аграрного університету в 2013 – 2016 рр. В досліді висівали сорт сорго цукрового Силосне 42 і гібрид Довіста та гібриди кукурудзи Моніка 350 МВ і Бистриця 400 МВ в одновидових та сумісних посівах. Співвідношення рядків 2 : 2. Площа посівної ділянки – 28 м<sup>2</sup>, облікової – 14 м<sup>2</sup>, повторність – чотириразова. Спостереження та аналізи проводили за загальноприйнятими методиками і державними стандартами. Облік урожайності проводили шляхом зважування зеленої маси з кожної ділянки з наступним її перерахунком на гектар [12].

Економічну ефективність елементів технології вирощування сорго цукрового та кукурудзи визначали за методиками В. К. Збарського та ін. [11] і М. В. Роїка та ін. [6; 17]. Виробничі витрати визначали на основі технологічних операцій, що застосовувались у дослідях. Вартість основної продукції, добрив, насіння, пестицидів, паливно-мастильних матеріалів визначали за цінами придбання в 2016 р.

Вихід біогазу та енергії отримано розрахунковим методом, згідно методичних рекомендацій ІБКіЦБ НААН України [15]. Для розрахунків виходу енергії приймали, що енергоемність біогазу, за вмісту метану 58 %, становить 21,8 МДж/л. Біоенергетичну оцінку прийомів, що вивчали, проводили за методикою О. К. Медведовського та П. І. Іваненка [14].

У роки досліджень урожайність зеленої маси збільшилась з 52,1 – 56,2 і 67,8 – 76,1 т/га за одновидової сівби сорго цукрового і кукурудзи до 76,8 – 85,5 т/га за сумісної сівби цих культур (табл. 4.49). Тому отриманий умовно чистий прибуток був найвищим, за сумісної сівби гібриду сорго цукрового Довіста і кукурудзи Бистриця 400 МВ і становить 10165,5 грн/га. Рівень рентабельності на цьому варіанті також мав максимальні значення (194,6 %).

Таблиця 4.49

**Економічна ефективність вирощування сорго цукрового і кукурудзи на силос залежно від способів сівби, 2013 – 2016 рр.**

Сорт, гібрид	Урожайність зеленої маси, т/га	Виручка від реалізації продукції, грн./га <sup>1)</sup>	Виробничі витрати, грн./га	Чистий прибуток, грн/га	Рівень рентабельності, %
Силосне 42	67,8	12199,5	4852,2	7347,3	151,4
Довіста	76,1	13689,0	5127,5	8561,5	167,0
Моніка 350 МВ	52,1	9378,0	4782,3	4595,7	96,1
Бистриця 400 МВ	56,2	10120,5	4998,7	5121,8	102,5
Силосне 42 + Моніка 350 МВ	76,8	13826,3	5079,6	8746,7	172,2
Силосне 42 + Бистриця 400 МВ	79,7	14346,0	5143,4	9202,6	178,9
Довіста + Моніка 350 МВ	82,6	14868,9	5187,6	9681,3	186,6
Довіста + Бистриця 400 МВ	85,5	15388,7	5223,2	10165,5	194,6

<sup>1)</sup> за цінами 2016 р. на сільськогосподарську продукцію реалізаційна вартість урожаю зеленої маси визначена за ціною 180 грн. за 1 т

*Джерело: розрахунки автора*

Виробничі витрати були найменшими при одновидовому вирощуванні гібриду кукурудзи Моніка 350 МВ – 4782,3 грн./га та досягали найвищих значень за сумісної сівби гібридів Довіста і Бистриця 400 МВ – 5223,2 грн./га.

За одновидового вирощування кукурудзи частка добрив складає 35 %, а сорго цукрового 36 % усіх витрат, за сумісної сівби вона зменшується до 32 %. Це пояснюється застосуванням меншої кількості мінеральних добрив в сумісних посівах. Як наслідок застосування декількох груп препаратів для захисту сумісних посівів сорго цукрового і кукурудзи від шкідливих організмів, зростають витрати на засоби захисту до 15 % (рис. 4.38).

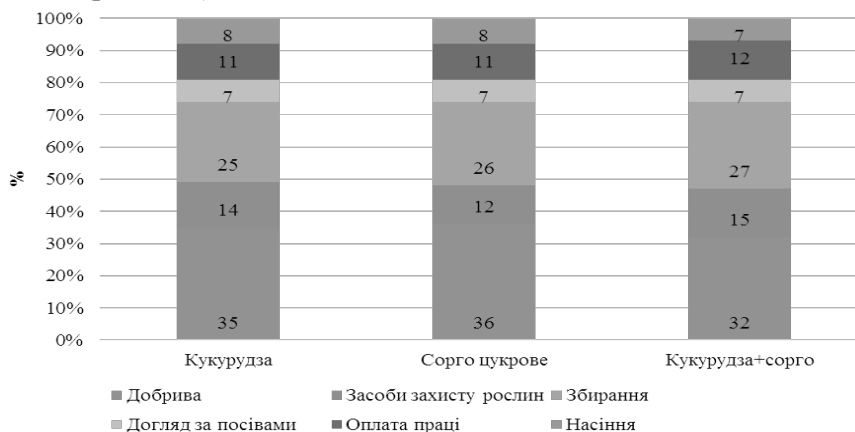


Рис. 4.38. Структура витрат на вирощування сорго цукрового і кукурудзи за одновидової і сумісної сівби, % (за цінами 2016 р.)

*Джерело: розрахунки автора*

Витрати на збирання в загальній структурі є другими за величиною: за одновидової сівби сорго цукрового і кукурудзи вони становлять 26 і 25 %, за сумісної – 27 %. Витрати на збирання при сумісному вирощуванні кукурудзи і сорго цукрового пояснюються збільшенням урожайності зеленої маси та відповідно витрат на її транспортування.

Витрати на насіння за вирощування сорго цукрового і кукурудзи в одновидових посівах складають 8 %, а за сумісної сівби вони зменшуються до 7 %.

Розрахунковий вихід біогазу із біомаси сорго цукрового та кукурудзи коливається від 6,1 тис. м<sup>3</sup>/га за одновидової сівби до 10,3 тис. м<sup>3</sup>/га за сумісної (рис. 4.39).

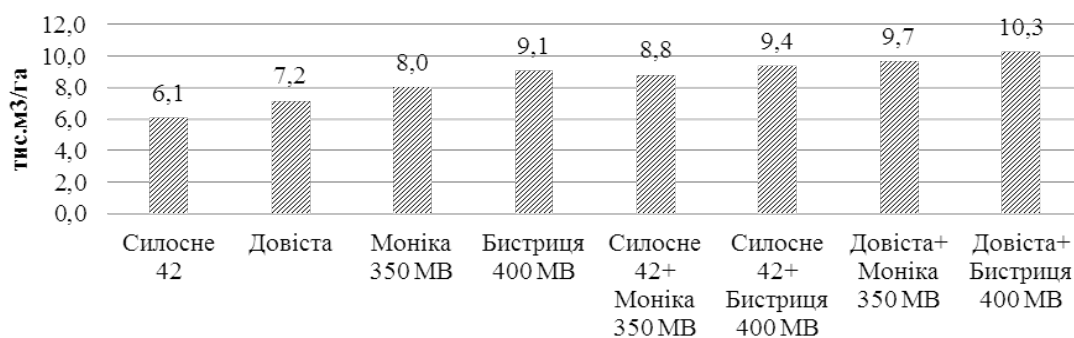


Рис. 4.39. Розрахунковий вихід біогазу із біомаси сорго цукрового та кукурудзи за одновидової і сумісної сівби, тис. м<sup>3</sup>/га (середнє за 2013 – 2016 рр.)

Джерело: розрахунки автора

За одновидової сівби цих культур показник виходу біогазу знаходиться в межах 6,1 – 9,1 тис. м<sup>3</sup>/га, а за сумісної 8,8 – 10,3 тис. м<sup>3</sup>/га, що більше на 5,6 – 34,7 %. Максимальні значення розрахункового виходу біогазу отримано при сумісному вирощуванні сорго цукрового Довіста і кукурудзи Бистриця 400 МВ (10,3 тис. м<sup>3</sup>/га).

За даними дослідників [1; 5] діапазон виходу метану для іноземних енергетичних гібридів кукурудзи становить 2,9 – 9,3 тис. м<sup>3</sup>/га, а для сорго цукрового 5,6 – 6,1 тис. м<sup>3</sup>/га, що дозволяє вважати вітчизняні гібриди прийнятними для ефективного виробництва біогазу та біометану в Україні. В той же час відсутні дані про сумісне вирощування кукурудзи і сорго цукрового та виробництво біогазу з цієї біомаси.

Енергетичний аналіз технологій вирощування сільськогосподарських культур закінчується встановленням енергетичної ціни врожаю – співвідношення кількості енергії, яка міститься у вирощеній продукції, до кількості енергії, витраченої на формування врожаю. Таке співвідношення називається коефіцієнтом енергетичної ефективності [10].

Витрати сукупної енергії на 1 га визначали за технологічними картами вирощування сорго цукрового в сумісних посівах з кукурудзою та в одновидових посівах в умовах Центрального Лісостепу України, які групували й аналізували за такими статтями: добрива, паливно-мастильні матеріали, механізовані й ручні роботи та ін.

Аналізуючи витрати сукупної енергії на виробництво біомаси сорго цукрового і кукурудзи, встановлено, що за одновидової сівби вони становили 18,0 – 18,3 і 17,2 – 17,5 ГДж/га а в сумісних посівах вони збільшилися 18,7 – 19,5 ГДж/га (табл. 4.50).

Таблиця 4.50

**Енергетична ефективність вирощування сорго цукрового і кукурудзи залежно від способу сівби, 2013 – 2016 рр.**

Сорт, гібрид	Витрати сукупної енергії, ГДж/га	Вихід енергії з біогазу, ГДж/га	Коефіцієнт енергетичної ефективності ( $K_{ee}$ )
Силосне 42	18,0	132,5	7,4
Довіста	18,3	156,0	8,5
Моніка 350 МВ	17,2	175,1	10,2
Бистриця 400 МВ	17,5	197,9	11,3
Силосне 42 + Моніка 350 МВ	18,7	191,8	10,3
Силосне 42 + Бистриця 400 МВ	18,9	204,7	10,8
Довіста + Моніка 350 МВ	19,2	210,7	11,0
Довіста + Бистриця 400 МВ	19,5	224,2	11,5

Джерело: розрахунки автора

Це пов'язано в першу чергу із зростанням урожайності зеленої маси на варіантах сумісної сівби. Відповідно найвищі показники розрахункового виходу енергії з біогазу отримано при сумісному вирощуванні сорго цукрового і кукурудзи 191,8 – 224,2 ГДж/га.

Максимальні значення показника коефіцієнта енергетичної ефективності ( $K_{ee}$ ) відмічено за вирощування сорго цукрового Довіста і кукурудзи Бистриця 400 МВ – 11,5. Використання в сумісних посівах інших компонентів (Силосне 42 + Бистриця 400 МВ, Силосне 42 + Моніка 350 МВ, Довіста + Моніка 350 МВ) призводить до зменшення виходу енергії з біогазу на 6,4 – 16,9% та коефіцієнту енергетичної ефективності на 4,5 – 11,7 %.

Загальний вихід енергії з біогазу, отриманої з одного гектара сумісних посівів сорго цукрового і кукурудзи, на всіх варіантах, перевищував цей показник отриманий в одновидових посівах. Так, за сумісного вирощування гібридів Довіста і Моніка 350 МВ загальний вихід енергії з одиниці площі становив 210,7 ГДж/га, а при одновидових посівах 156 і 175,1 ГДж/га відповідно.

У 2013 р. в лабораторії землеробства, стаціонарних агрохімічних досліджень Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН було проведено якісний аналіз зеленої маси сорго цукрового і кукурудзи на вміст сухої речовини, азоту, фосфору, калію та вуглецю (табл. 4.51).

*Таблиця 4.51*

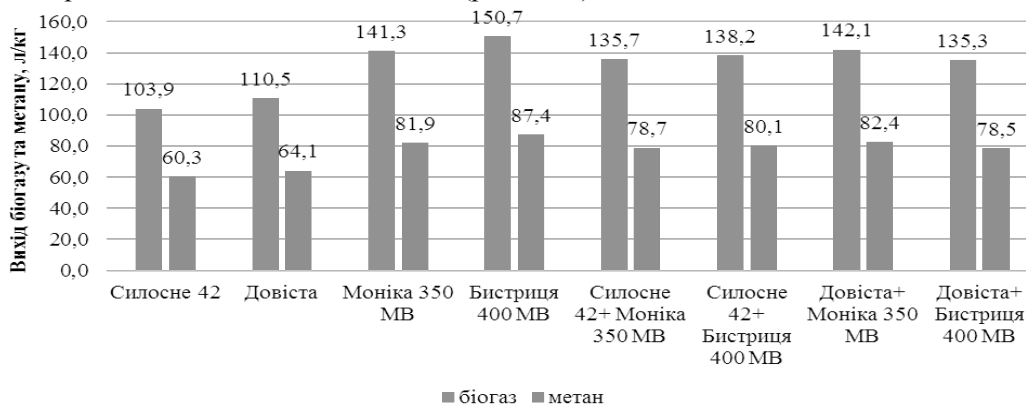
**Вміст сухої речовини та азоту, фосфору, калію і вуглецю в зеленій масі кукурудзи і сорго цукрового у фазу воскової стиглості зерна, у середньому за 2012 – 2013 рр., %**

Сорт, гібрид	Суха речовина	Вміст			
		N	P	K	C
Силосне 42	22,5	1,09	0,32	1,11	38,06
Довіста	23,6	1,14	0,39	1,14	38,59
Моніка 350 МВ	29,6	1,38	0,44	0,88	39,33
Бистриця 400 МВ	31,2	1,41	0,43	0,97	39,80
Силосне 42 + Моніка 350 МВ	25,6	1,21	0,36	0,93	37,87
Силосне 42 + Бистриця 400 МВ	26,1	1,23	0,37	1,01	37,81
Довіста + Моніка 350 МВ	26,5	1,28	0,37	0,96	38,01
Довіста + Бистриця 400 МВ	26,8	1,29	0,36	1,03	37,96

*Джерело: розрахунки автора*

За даними досліджень, у фазі воскової стиглості зерна вміст азоту в рослинах сорго цукрового становив 1,09 – 1,14 %, фосфору – 0,32 – 0,39 %, калію – 1,11 – 1,16 % та вуглецю – 38,06 – 38,59 %. У гібридів кукурудзи показники азоту, фосфору і вуглецю були вищими на 0,27 – 0,29 %, 0,04 – 0,12 % і 1,21 – 1,27 % а калію менші 0,17 – 0,23 %. За вмістом вказаних елементів суміш кукурудзи і сорго цукрового займає проміжне положення між вказаними культурами.

На основі якісних показників зеленої маси сорго цукрового і кукурудзи розраховано вихід біогазу та метану за методами запропонованими Т. Амон та ін. [2] та А. М. Buswell, Н. F. Mueller [3]. В розрахунках прийнято що вихід метану становить 58 % від отриманого біогазу. Мінімальні значення розрахункового виходу біогазу та метану на основі вмісту елементів живлення в зеленій масі відмічено у сорту сорго цукрового Силосне 42 – 103,9 і 60,3 л/кг силосної маси. Максимальний у гібриду кукурудзи Бистриця 400 МВ – 150,7 і 87,4 л/кг (рис. 4.40).



**Рис. 4.40. Розрахунковий вихід біогазу та метану на основі вмісту сухої речовини, азоту, фосфору, калію і вуглецю в зеленій масі кукурудзи і сорго цукрового, з силосної маси кукурудзи, сорго цукрового та їх сумішей, л/кг**

*Джерело: розрахунки автора*

При сумісному вирощуванні цих зернових культур, найкращим виявився варіант Довіста + Моніка 350 МВ. Розрахунковий вихід біогазу та метану з суміші силосної маси кукурудзи і сорго цукрового становив при цьому – 142,1 і 82,4 л/кг. За рахунок вищого вмісту сухої речовини та азоту, фосфору, калію і вуглецю в зеленій масі кукурудзи, показники розрахункового виходу біогазу і метану були вищими на 4,1 – 11,2 % порівняно з її сумішшю з сорго цукровим.

При перерахунку на 1 га посівної площі отримано вихід біогазу і метану у сорго цукрового 7,0 – 8,1 і 4,1 – 4,9 тис. м<sup>3</sup>/га, кукурудзи – 7,2 – 8,6 і 4,3 – 5,6 тис. м<sup>3</sup>/га, при сумісному вирощуванні – 9,1 – 10,2 і 5,3 – 5,8 тис. м<sup>3</sup>/га. Ці дані збігаються з попередніми розрахунками виходу біогазу із зеленої маси кукурудзи і сорго цукрового з одновидових і сумісних посівів.



На основі проведених досліджень можна зробити висновок що, продуктивність сумісних посівів кукурудзи з сорго цукровим вища, ніж одновидових. У середньому за 2013 – 2016 рр. у сумісних посівах врожайність зеленої маси та розрахунковий вихід біогазу були вищими на 6,6 – 30,5 т/га та 9,5 – 44,7 % порівняно з одновидовою сівбою кукурудзи та сорго цукрового. Максимальні значення розрахункового виходу біогазу та метану, на основі вмісту сухої речовини, азоту, фосфору, калію і вуглецю в зеленій масі були у гібриду кукурудзи Бистриця 400 МВ – 150,7 і 87,4 л/кг.

Високу економічну ефективність отримано за сумісної сівби кукурудзи і сорго цукрового: за вирощування гібридів Довіста і Бистриця 400 МВ умовно чистий прибуток становив 10165,5 грн/га а рівень рентабельності 194,6 %, що на 1604 – 5043,7 грн/га та 27,6 – 92,2 % більше порівняно з одновидовими посівами цих культур. За одновидового вирощування гібриду сорго цукрового Довіста вихід енергії з біогазу становив 156 ГДж/га, а коефіцієнт енергетичної ефективності – 8,5, а у гібриду кукурудзи Бистриця 400 МВ – 197,9 ГДж/га і 11,3 відповідно. Сумісне вирощування цих культур підвищує вказані показники на 26,3 – 68,2 ГДж/га і 0,2 – 3.

#### **8.14. Вплив умов вирощування та біометричних показників рослин проса прутоподібного на урожайність і вихід біопалива**

© Кулик М. І.

*к.с.-г.н., доцент, доцент кафедри селекції, насінництва і генетики,  
Полтавська державна аграрна академія, м. Полтава, Україна*

Насьогодні у Світі 35 % енергетичних потреб компенсується за рахунок використання нафти, 23 % за рахунок вугілля, 21 % – природного газу, 7 % – ядерного палива [1]. Усі ці ресурси є непоновлюваними. З урахуванням значного прогнозованого збільшення потреби в енергетичних ресурсах, експертами підраховано, що вугілля вистачить на 250 – 300 років, природного газу – на 50 – 70 років, а нафти всього на 30 – 40 років [10].

У зв'язку із прогнозованим вичерпанням основних видобувних енергоносіїв, енергія із відновлювальних ресурсів є однією з найбільш обговорюваних тем в Європі та в усьому світі. Величезні викиди вуглекислого газу і метану в атмосферу призводять до збільшення парникового ефекту та погіршують екологію довкілля. Тому, перед аграрними підприємствами постає об'єктивна необхідність впровадження інноваційних енергозберігаючих технологій, орієнтованих на виробництво біологічних видів палива, які одержують із рослинної сировини [1].

В умовах дефіциту енергоресурсів все більше уваги приділяється можливості використання енергетичних культур та рослинних решток сільськогосподарського господарства як альтернативних джерел енергії. Інтенсивний розвиток програм виробництва палива з відновлюваних джерел рослинної сировини в економічно розвинених країнах можна розглядати як підготовку їхньої економіки до можливого, в довгостроковій перспективі, дефіциту вуглеводневої сировини для виробництва палива. Світова індустрія різних видів біопалива характеризується наявністю широкого спектру заходів законодавчого та нормативно-правового забезпечення розвитку біоенергетики, а також державних програм, спрямованих на збільшення виробництва біопалива в певній країні [12]. Як наслідок, у Світі спостерігається невинне зростання виробництва енергетичних ресурсів з відновлюваних джерел, з-поміж яких значного розвитку набувають енергоносії біологічного походження.

Саме тому, наукова спільнота все більше звернула увагу на можливості України щодо забезпечення власних енергетичних потреб за рахунок відновлювальних джерел енергії, а саме на розвиток біоенергетики за рахунок наявної ресурсної бази. Численні публікації не лише науковців, але й практиків, що вже мають досвід використання поновлювальних енергетичних ресурсів, свідчать про значні перспективи нашої держави щодо зниження рівня енергетичної залежності та зміцнення економічної та національної безпеки в цілому. Однак, в Україні близько 2 % спожитої енергії від її загального обсягу одержують з біомаси, тоді як у Західній Європі цей показник становить 10 – 12 %, а в ряді скандинавських країн – від 17 до 40 % [3].

Україна має великий потенціал біомаси, доступної для енергетичного використання, має добрі передумови для розширення використання рослинних решток на біопаливо. Енергетична стратегія України до 2030 р. передбачає динамічне зростання обсягів використання енергії біомаси в 2015 р. до 5 млн. т умовного палива (т у. п.), або це 2,5 % від загального енергоспоживання, а в 2030 р. – до 20 млн. т у. п. або до 10 % [15].

Доцільність використання енергії біомаси обґрунтовує М. Руденко і стверджує, що енергія прогресу як абсолютна додаткова вартість є важливим критерієм екологічної збалансованості економіки, оскільки відповідає принципів збереження природної впорядкованості, що надходить з енергією Сонця на Землю і формується на енергетичній природі злаків [54].

Використання рослинної біомаси багаторічних трав'янистих фітоценозів на біопаливо є альтернативним їх використанням. Проведений Г. Г. Гелетухою із співавторами аналіз ресурсу біопалива в Україні показав, що енергетичний економічно виправданий потенціал багаторічних трав'янистих фітоценозів становить 7,05 млн. т у. п./рік, що становить 20 % від всього потенціалу біомаси та торфу в Україні. У тому числі на природні кормові угіддя припадає 12 %, плавні і болота 7 %, нетрадиційні енергетичні культури – 1 % [7].

Зважаючи на те, що проблема забезпечення власними енергетичними ресурсами є досить актуальним питанням сьогодення для нашої держави, Ю. Тараріко вказує на те, що прийняті законодавчі та нормативні акти, виробництво та використання біопалива в нашій країні наразі мають епізодичний характер, освоєні лише окремими підприємствами і зводиться переважно до постачання біоенергетичної сировини на світовий ринок [55].

Незважаючи на те, що Україна має значний потенціал біомаси для виробництва енергії (близько 27 млн. т паливних видів біомаси, завдяки яким можна скоротити на 18 % споживання в країні природного газу), ринок біоенергетики розвивається повільно [5]. Згідно з енергетичним балансом України за 2013 р., підготовленим Держстатом, частка відновлювальних джерел енергії у валовому кінцевому енергоспоживанні становила 3,45 %, у тому числі біомаса – 2,2 %, що близько 63 % від усіх відновлювальних джерел енергії.

Загалом енергетичні ресурси біомаси поділяють на дві групи:

1) рослини, які вирощуються за призначенням на енергетичні потреби: просо прутіподібне, енергетична верба, шавнат, міскантус тощо;

2) органічні рештки і відходи – рештки культурних рослин, відходи від вирощування і переробки рослинної продукції, відходи тваринництва, комунальні органічні відходи та ін. [6; 52].

Основними перевагами біомаси над традиційними видами палива є: вища екологічна чистота; більш раціональне використання наявних природних ресурсів; економічна ефективність; вирішення проблеми утилізації відходів, екологічність, тощо [17].

В Україні, на фоні зменшення непоновлюваних енергетичних джерел, виснаження наявних родовищ, використання відновлювальних джерел енергії, в тому числі біомаси рослин, набуває актуального значення. Все це засвідчує необхідність проведення відповідних досліджень з вивчення доступного потенціалу рослинного енергетичного ресурсу, спеціально вирощених енергетичних культур та можливості використання їхньої фітомаси для отримання енергоємного біопалива.

Україна за природно-економічними умовами належить до країн з надзвичайно сприятливими умовами та потенціалом для забезпечення продовольчої безпеки і створення стабільного ринку енергетичних культур для використання в біопаливній промисловості. Для її розвитку є достатній потенціал відновлюваних джерел енергії: зернові, олійні, лігнінцелюлозні, крохмале- та цукровмісні культури; відходи та залишки сільського господарства і лісівництва; біомаса, що містить лігнін, та інші стійкі залишки. Залучення потенціальних відновлюваних джерел енергії усіх видів і, передусім, біомаси шляхом трансформації енергії фотосинтезу в доступній для використання в економіці держави формі, сприятиме зниженню рівня енергозалежності України. Наша країна має великий потенціал біомаси, доступної для енергетичного використання, добрі передумови для їх розширення та використання на паливо.

Окрім цього, визначено, що з-поміж злакових енергетичних культур, найбільшим потенціалом за врожайністю сухої маси виокремлюються арундо тростинний, міскантус гігантський. Дещо менший продуктивністю відзначилися – сорго багаторічне та просо прутіподібне за багаторічного циклу вирощування в ґрунтово-кліматичних умовах, що відповідають їх біологічним особливостям [39].

Енергетична стратегія України до 2030 р. [15; 38] передбачає динамічне зростання обсягів використання енергії біомаси до 20 млн. т умовного палива, що становитиме в 2030 р. 10 % від загального енергоспоживання.

За даними Інституту теплофізики НАН України, в нашій країні повне використання на біопаливо енергетичних культур при вирощуванні їх на площі 5 млн. га дозволить довести виробництво енергії з біомаси до 18 % від загального споживання енергії країни [14].

Однак, не дивлячись на очевидні переваги і зростаючі потреби у розвитку біоенергетики, сучасна наука в даному напрямі лише зароджується і виявляється в окремих локальних дослідженнях та незначному, у відсотковому співвідношенні впровадженні результатів у виробництво

Станом на 2014 р. досягнення України щодо виробництва біопалива у порівнянні з її потенціалом були незначні. Так, на цей період працювало лише 8 біогазових установок, 140 підприємств з виготовлення пелет, 90 котлів і генераторів на тюкованій соломі, 2 тис. котлів на деревних відходах, було виготовлено 150 тис. т біоетанолу і незначну кількість біодизелю [3].

Поряд з цим, розвиток біоенергетики дасть змогу господарствам, задіяним у цьому секторі, отримати додатково нові робочі місця, дешеві енергоносії, а місцеві соціальні заклади забезпечити альтернативним біопаливом із рослинної сировини [17].

На даний час значну кількість рослин вже досліджено для визначення потенційної можливості використання їхнього енергетичного потенціалу, але лише невелику кількість культур вирощують на значних площах. З них найбільш поширеними є представники родів *Miscanthus* (міскантус), *Salix* (верба), *Populus* (тополя) та *Panicum* (просо прутоподібне – світчграс). Ці рослини культивують на одному місці від 10 до 30 років. Підготовка ґрунту для їх вирощування не потребує великих енергетичних витрат. До перспективних енергетичних рослин можна віднести цукровий та кормовий буряк і сорго цукрове [51; 76].

З поміж енергетичних культур світчграс є однією з рослин, у якої низька собівартість виробництва фітомаси – сировини для біопалива, та висока продуктивність надземної вегетативної маси за багаторічного циклу використання. Основними шляхами використання світчграсу є виробництво електроенергії через газифікацію, комбіноване спалювання на вугільних заводах та виробництво етанолу для пального [60; 72; 74]. Нещодавно до комплексного використання енергетичних культур віднесли виробництво целюлозних і волокнистих ущільнених композиційних матеріалів [63; 70].

Внаслідок широкого географічного поширення проса прутоподібного, можливості його вирощування на ґрунтах різної якості, низьких вимог до вмісту вологи та поживних речовин для живлення рослин і позитивного впливу на навколишнє середовище світчграсу всебічно вивчають за кордоном [64; 66 – 69; 71; 73; 77; 78]. Поряд з цим, комплексні дослідження проведені науковцями в умовах Лісостепу України, з урахуванням адаптивних властивостей проса прутоподібного, передбачали вивчення культури за сортовими особливостями, елементами структури врожаю, особливостями технології вирощування та використання на біопаливні цілі, з урахуванням екологічних чинників [18; 20 – 25; 28; 32; 34; 41; 57].

На даний час просо прутоподібне вивчають у різних ґрунтово-кліматичних зонах України: в Національному ботанічному саду ім. М. М. Гришка [50], на Веселоподільській, Ялтушківській дослідних станціях [47; 58], Інституті біоенергетичних культур і цукрових буряків [40; 52], в Борщівському агротехнічному коледжі (Тернопільська область) [8], Львівській філії УкрНДІВП ім. Л. Погорілого [13], Полтавській державній аграрній академії [75] та інших установах.

Іноземні вчені визначили, що урожайність світчграсу змінюється від 10 т/га сухої маси на північно-європейських ґрунтах з низькою родючістю до 25 т/га на південно-європейських ґрунтах з високою родючістю. З площі 1 га можна отримати від 5 до 12 т умовного палива [75]. Просо прутоподібне можна вирощувати на землях, непридатних для культивування інших сільськогосподарських рослин. Ця рослина відзначається низькою собівартістю технології вирощування, потребує незначних вкладень, забезпечуючи високі врожаї біомаси навіть на збіднених на поживні речовини ґрунтах [65].

Цю думку підтримує М. Я. Гументик [9], результати його досліджень засвідчили, що просо прутоподібне, завдяки потужній кореневій системі та можливостям довготривалого використання є перспективною, економічно вигідною біоенергетичною культурою для вирощування на малопродуктивних землях у більшості регіонів України.

За проведення відповідних досліджень з енергетичними культурами в умовах Полісся В. В. Думичем із співавторами було встановлено [13], що ґрунтово-кліматичні умови регіону вирощування є сприятливими для вирощування світчграсу сорту Картадж. Оптимальний строк сівби та норма висіву насіння забезпечуються необхідні умови для росту і розвитку рослин світчграсу, а його продуктивність в значній мірі залежить від вологості ґрунту.

Дослідження, проведені авторами в умовах центральної частини Лісостепу [36] свідчать про високий потенціал врожайності сухої вегетативної маси сортів проса прутоподібного Форесбург і Кейв-ін-рок третього і четвертого року вегетації вирощених на деградованих ґрунтах.

За вивчення вихідного матеріалу проса прутоподібного в нашій країні визначено, що ця культура є перспективною для фітоенергетики, яка під час акліматизації в умовах центральної частини України на малопродуктивних ґрунтах забезпечила потужний стеблостій на другий-третій рік вегетації, формувала стабільну врожайність фітомаси (сировини для виробництва біопалива) та насінневу продуктивність [59].

Всебічні дослідження проса прутоподібного в Україні за ботаніко-біологічними особливостями [19; 37], сортовим складом [30; 33; 58], елементами технології вирощування [42; 43; 45], посівними якостями насіння та насінневою продуктивністю [26 – 27; 30 – 31; 35; 49; 62] та особливостями виготовлення біопалива із фітомаси рослин [16; 48; 53] переконливо свідчать про значну зацікавленість вчених у вивченні цієї культури.

Отже, для збільшення відсотку промислового виробництва та споживання біологічних видів палива, з урахуванням екологічного чинника, нашій країні необхідно всебічно досліджувати та ширше впроваджувати у виробництво найбільш перспективні сорти, розробляти новітні технології вирощування енергетичних культур, удосконалювати логістичний ланцюг виробництва та постачання рослинної сировини для виробництва біопалива. Цьому сприятимуть комплексні дослідження з визначення залежності формування врожайності вегетативної надземної маси проса прутоподібного (*Panicum virgatum* L.) та встановлення енергетичного потенціалу його фітомаси за багаторічного циклу вирощування в умовах України.

У зв'язку з чим, в умовах Лісостепу України було закладено багатофакторний експеримент з відповідно до ініціативної тематики “Особливості вирощування світчграсу” (2008 – 2010 рр.), міжнародної наукової тематики “Pellets for Power” (2011 – 2013 рр.) та державної науково-дослідної теми “Агроекологічні засади вирощування енергетичних культур в умовах України” (2014 – 2017 рр.).

Мета досліджень передбачала визначення особливостей формування урожайності вегетативної надземної маси (фітомаси) та енергетичного потенціалу проса прутоподібного за багаторічного циклу вирощування в різних ґрунтово-кліматичних умовах України.

Відповідно до поставленої мети передбачалось вирішення наступних завдань:

1. Визначити біометричні показники рослинного фітоценозу проса прутоподібного за вирощування в різних умовах.
2. Встановити урожайність проса прутоподібного за сухою вегетативною масою залежно від року вегетації та умов вирощування.
3. Провести кореляційно-регресійний аналіз кількісних показників рослин, їхньої продуктивності та урожайності фітомаси проса прутоподібного за різних умов вегетації.
4. Визначити найбільш впливові фактори, що мають суттєвий вплив на врожайність фітомаси проса прутоподібного.
5. Розрахувати енергетичний потенціал фітомаси проса прутоподібного та визначити вихід умовного біопалива рослинної сировини культури.

Дослід № 1 розміщено в Лівобережно-Дніпровській лісостеповій провінції, що займає Придніпровську низовину. Річна сума опадів становить 450 – 550 мм, коефіцієнт зволоження змінюється від 1,9 до 1,3. Це східна частина центрального Лісостепу, розташована на чорноземі типовому потужному слабосолонцюватому, малогумусному, середньосуглинковому. Вміст гумусу в орному шарі 0 – 30 см становить 4,2 %; рН 7 – 7,1; лужногідролізованого азоту 18 – 25 мг/кг; рухомого фосфору 28 – 30,1 мг/кг та обмінного калію 120 – 150,1 мг/кг ґрунту.

Дослід № 2 розташовано в Дністровсько-Дніпровській лісостеповій провінції, яка лежить у межах Подільської та Придніпровської височин. Річна сума опадів становить 450 – 560 мм, коефіцієнт зволоження 2 – 1,4. Це західна частина північного Лісостепу, розташована на сірому лісовому опідзоленому середньо-суглинковому слабокислому ґрунті. Вміст гумусу в орному шарі 0 – 30 см становить 1,5 %; рН сол. 5,5 – 6; лужногідролізованого азоту 75 – 77,6 мг/кг; рухомого фосфору 127,3 – 131 мг/кг та обмінного калію 115 – 123,4 мг/кг ґрунту.

За проведення багаторічних досліджень застосовували як загальноприйнятну методику польового дослідження [11; 44] так і спеціальні методики [42; 43]. Урожайність фітомаси світчграсу визначали шляхом скошування рослин, їхнього зважування, висушування відібраної проби та перерахунку на суху масу з урахуванням вологості сировини [29; 61].

Енергетичний потенціал фітомаси проса прутоподібного визначали згідно методики Р. В. Морозова [46] та ін. вчених.

Для побудови кореляційної плеяди визначали залежність між урожайністю сухої фітомаси проса прутоподібного і біометричними показниками рослин: висота рослин (см); кількість стебел (шт./м.п.); кількість листків на рослині (шт.); довжина прапорцевого листка (см); загальна кількість листків (шт./м.п.); вміст сухої речовини у фітомасі (т/га); продуктивність сухої фітомаси (кг/м.п.); продуктивність умовно вологої фітомаси (кг/м.п.); урожайність сухої фіто маси (т/га). Отримані результати досліджень обробляли за сучасними методами статистики із застосуванням комп'ютерних програм Excel та Statistica 6.0 [4; 56].

Біометричні показники рослин просо прутоподібного за роки дослідження характеризувалися значним варіюванням і залежали від умов вирощування (табл. 4.52).

В умовах Лівобережно-Дніпровської лісостепової провінції ВР проса прутоподібного змінювалась у межах – від 110,3 до 165 см, КС на м.п. – від 740,2 до 890,1 шт., КЛ на рослині – від 5,1 до 6 шт., ДПЛ – від 37,5 до 46,1 см, а ЗКЛ на м.п. була від 114,2 до 178 см. Найменші кількісні показники рослин були отримані на четвертий рік вегетації за зменшеного значення КС і ЗКЛ, порівняно з іншими роками вегетації, що пов'язано з несприятливими умовами вирощування культури та показником ГТК, що був менше 1 і характеризував період як посушливий.

Таблиця 4.52

**Біометричні показники рослин проса прутіподібного третього – п'ятого років вегетації за вирощування у різних умовах**

Дослід (фактор А)	Рік вегетації (фактор Б)	Висота рослин, см	Кількість			Довжина прапорцевої листка, см
			стебел, шт./м.п.	листіків на рослині, шт.	листіків, шт./м.п.	
№ 1	третій	110,3	740,2	5,1	148,0	37,5
	четвертий	165,0	685,5	6,0	114,2	46,1
	п'ятий	140,4	890,1	5,4	178,0	45,4
Середнє по досліді		138,6	771,9	5,5	146,7	43,0
№ 2	третій	157,6	720,8	6,1	120,0	47,7
	четвертий	176,3	910,3	6,5	151,7	50,8
	п'ятий	154,4	987,0	6,2	164,5	54,2
Середнє по досліді		162,8	872,7	6,3	145,4	50,9
НІР05 (фактор А)		8,4	19,2	0,4	20,4	5,6
НІР05 (фактор Б)		12,1	23,1	0,15	13,2	4,2

Джерело: розраховано автором

Для умов Дністровсько-Дніпровської лісостепової провінції характерним є зміна ВР проса прутіподібного у межах – від 154,4 до 176,3 см, КС на м.п. – від 720,8 до 987 см, КЛ на рослині – від 6,1 до 6,5 шт., ДПЛ – від 47,7 до 54,2 см, а ЗКЛ на м.п. була від 120 до 164,5 см. Найбільші кількісні показники рослин були отримані на четвертий рік вегетації за зменшеного значення ДПЛ і ЗКЛ, порівняно з іншими роками вегетації.

Порівнюючи результати досліджень за три роки можна стверджувати, що вищими кількісні показники рослин проса прутіподібного були за вирощування його в умовах достатнього зволоження Дністровсько-Дніпровської лісостепової провінції України, порівняно із Лівобережно-Дніпровською, що характеризується недостатнім зволоження, з наявністю посушливих умов в окремі періоду росту та розвитку рослин.

Урожайність фітомаси проса прутіподібного залежить як від продуктивності кожної рослини у фітоценозі, так і від вмісту вологи у ній на час збирання врожаю (табл. 4.53). Вага сухої рослини, як і вага снопа залежала від вмісту вологи у фітомасі, що в умовах Лівобережно-Дніпровської лісостеповій провінції змінювалася від 24,5 до 31,3 % і залежала від погодних умов вегетації культури, а для умов Дністровсько-Дніпровської лісостепової провінції це показник варіював у межах – від 25,1 до 35,9 %. Визначено тісний кореляційний зв'язок між вмістом вологи у фітомасі та урожайністю сухої маси, що знаходиться у межах – від – 0,72 до – 0,81. Тобто із збільшенням одного показника буде зменшуватись інший, та навпаки.

Таблиця 4.53

**Продуктивність і урожайність фітомаси проса прутіподібного третього – п'ятого років вегетації за вирощування у різних умовах**

Дослід (фактор А)	Рік вегетації (фактор Б)	Вага сирого снопа, кг	Вміст вологи, %	Вага 1 сирі рослини, г	Вага 1 сухої рослини, г	Урожайність, т/га	
						сирі маси	сухої маси
№1	третій	909,3	31,3	1,228	0,624	20,20	13,88
	четвертий	494,8	24,5	0,723	0,374	11,00	8,30
	п'ятий	743,2	30,8	0,835	0,514	16,51	11,43
№2	третій	935,6	30,0	1,300	0,655	20,80	14,56
	четвертий	1108,7	25,1	1,218	0,830	24,64	18,45
	п'ятий	1133,1	35,9	1,148	0,726	25,18	16,14
НІР05 (фактор А)						3,27	3,61
НІР05 (фактор Б)						0,47	1,76

Джерело: розраховано автором

За результатами досліджень встановлено динаміку урожайності проса прутіподібного за вирощування його у різних умовах (рис. 4.41).

У промислових масштабах урожайність проса прутіподібного, як сировини для біопалива, розпочинають збирати з третього року вегетації, тому, наводимо детальний аналіз результатів досліджень від третього до п'ятого року використання.

За вирощування проса прутіподібного у Лівобережно-Дніпровській лісостеповій провінції в умовах четвертого року вегетації спостерігалось зниження врожаю, порівняно із третім роком на 5,6 т/га, п'ятого – на 2,5 т/га. Найбільша урожайність вологої і сухої фітомаси зафіксована при вирощуванні культури на третій рік вегетації, відповідно – 20,2 і 13,9 т/га.

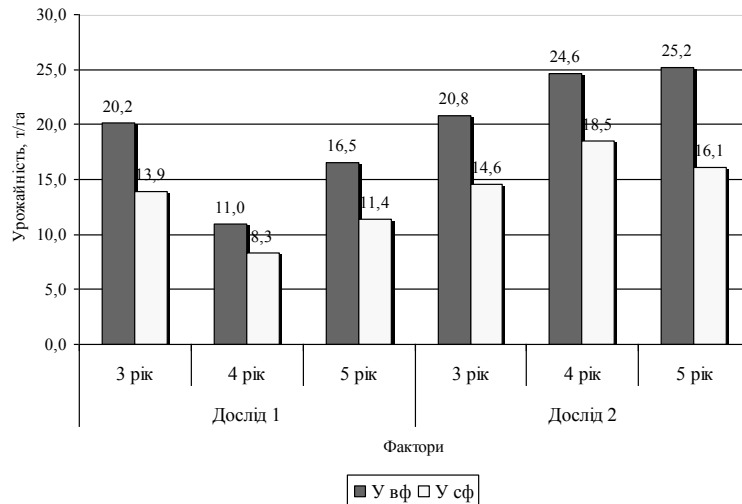


Рис. 4.41. Урожайність фітомаси проса прутоподібного

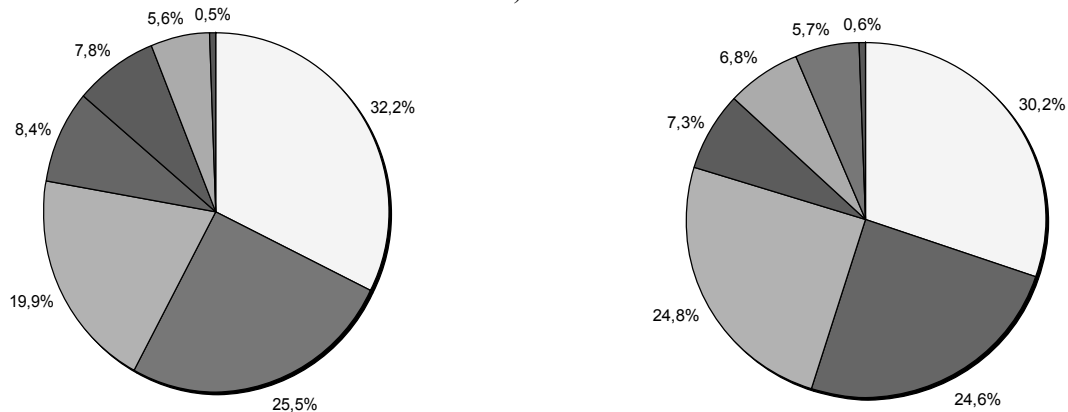
третього – п'ятого років вегетації за вирощування у різних умовах

Дослід 1 – Лівобережно-Дніпровська лісостепова провінція; Дослід 2 – Дністровсько-Дніпровська лісостепова провінція, Увф – урожайність вологої фітомаси, т/га; Усф – урожайність сухої фіто маси, т/га

*Джерело: досліджено автором*

В умовах Дністровсько-Дніпровської лісостепоної провінції найбільша урожайність сухої вегетативної надземної маси проса прутоподібного відмічена на четвертий рік вегетації – на рівні 18,45 т/га, що суттєво більше на 3,9 т/га порівняно із третім, та на 2,3 т/га – із п'ятим роком вегетації.

За ступенем впливу на врожайність сухої фітомаси проса прутоподібного кількісні показники рослин розподілилися наступним чином (рис. 4.42).



Лівобережно-Дніпровська лісостепова провінція

Дністровсько-Дніпровська лісостепова провінція

- |                                       |                                   |
|---------------------------------------|-----------------------------------|
| □ Вміст сухої речовини, %             | □ Довжина прапорцевого листка, см |
| ■ Висота рослин, см                   | ■ Загальна кількість листків, шт. |
| ■ Кількість листків на 1 рослині, шт. | ■ Кількість стебел, шт./м.п.      |
| ■ інші                                |                                   |

Рис. 4.42. Частки впливу біометричних показників рослин на врожайність сухої фітомаси проса прутоподібного залежно від умов вирощування

*Джерело: розраховано автором*

В умовах Лівобережно-Дніпровській лісостепоної провінції на врожайність сухої фітомаси проса прутоподібного 3 – 5 років вегетації найбільш вагомий вплив має вміст сухої речовини в фітомасі (32,2 %), кількість стебел на одиницю площі (25,5 %) та довжина прапорцевого листка (19,9 %), інші кількісні показники рослин – менше 10 %.

Для умов Дністровсько-Дніпровської лісостепоної провінції визначено, що формування врожайності сухої фітомаси проса прутоподібного 3 – 5 років вегетації найбільшою мірою обумовлюється вмістом сухої речовини в фітомасі (30,2 %), висотою рослин (24,6 %), довжиною прапорцевого листка (24,8 %), інші кількісні показники рослин – менше 10 %.

Відповідно до проведених статистичних розрахунків і одержаних результатів кореляційно-регресійного аналізу була побудована комплексна кореляційна плеяда з тих кількісних показників, що мають істотний вплив на продуктивність рослин та урожайність сухої фітомаси проса прутоподібного залежно від умов вирощування (рис. 4.43 – 4.44).

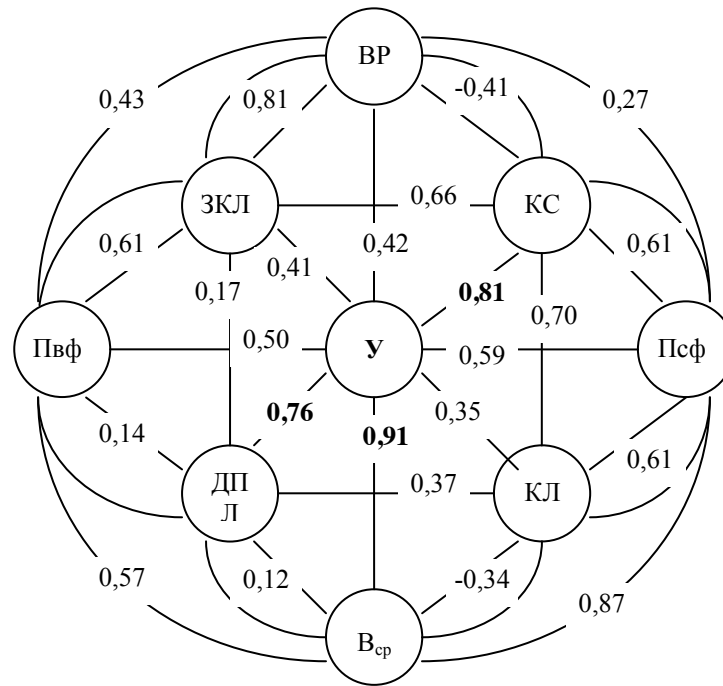


Рис. 4.43. Кореляційна плеяда залежності між біометричними показниками рослин і врожайністю сухої фітомаси проса прутоподібного в умовах Лівобережно-Дніпровської лісостепової провінції: ВР – висота рослин, см; КС – кількість стебел, шт./м.п.; КЛ – кількість листків на рослині, шт.; ДПЛ – довжина прапорцевого листка, см; ЗКЛ – загальна кількість листків, шт./м.п.; Всп – вміст сухої речовини у фіто масі, т/га; Псф – продуктивність сухої фітомаси, кг/м.п.; Пвф – продуктивність умовно вологої фітомаси, кг/м.п.; У – урожайність сухої фітомаси, т/га. Коефіцієнти кореляції достовірні при 5 % рівні значущості.  
Джерело: авторська розробка

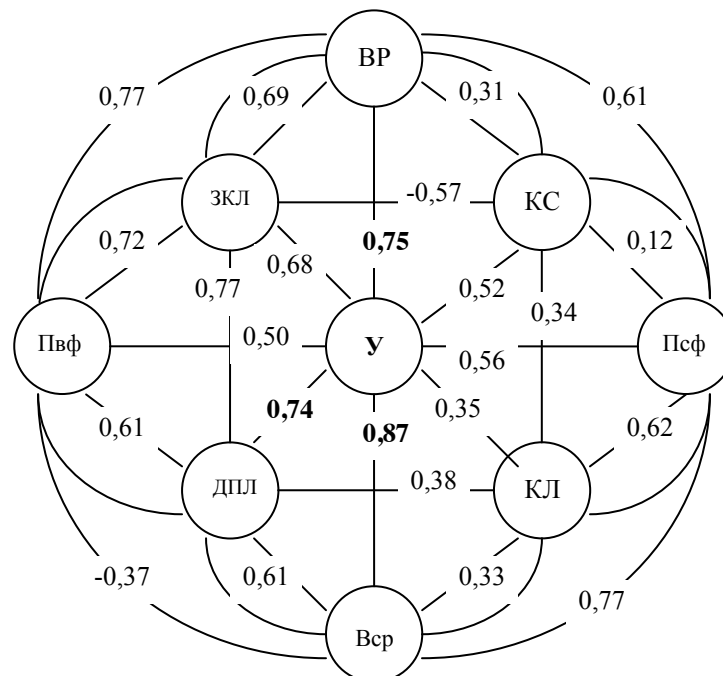


Рис. 4.44. Кореляційна плеяда залежності між біометричними показниками рослин і врожайністю сухої фітомаси проса прутоподібного в умовах Дністровсько-Дніпровської лісостепової провінції: ВР – висота рослин, см; КС – кількість стебел, шт./м.п.; КЛ – кількість листків на рослині, шт.; ДПЛ – довжина прапорцевого листка, см; ЗКЛ – загальна кількість листків, шт./м.п.; Всп – вміст сухої речовини у фіто масі, т/га; Псф – продуктивність сухої фітомаси, кг/м.п.; Пвф – продуктивність умовно вологої фітомаси, кг/м.п.; У – урожайність сухої фітомаси, т/га. Коефіцієнти кореляції достовірні при 5 % рівні значущості.  
Джерело: авторська розробка

Урожайність сухої фітомаси проса прутоподібного за вирощування в умовах Лівобережно-Дніпровської лісостепової провінції в більшій мірі обумовлюється кількістю стебел на одиницю площі (г 0,81), довжиною прапорцевого листка (г 0,76) та вмістом сухої речовини у фітомасі рослин (г 0,91). Середній вплив на формування продуктивності рослин та урожайність надземної вегетативної маси мають наступні показники: ВР (г 0,42), КЛ (г 0,35), ЗКЛ (г 0,41).

За вирощування проса прутоподібного в умовах Дністровсько-Дніпровської лісостепової провінції урожайність сухої фітомаси залежить від висоти рослин (г 0,75), загальної кількості листків на ній (г 0,68), довжини прапорцевого листка (г 0,74) та вмісту сухої речовини у фітомасі рослин (г 0,87). Середній вплив на формування продуктивності рослин та урожайність надземної вегетативної маси мають наступні показники: КС (г 0,52) та КЛ (г 0,43).

Результати обрахунку виходу умовного біопалива із фітомаси проса прутоподібного свідчить, що його надземна вегетативна маса мала різну енергоємність і залежала від вмісту вологи в сировині на час збирання врожаю (табл. 4.54).

Таблиця 4.54

**Вихід умовного біопалива із фітомаси проса  
прутоподібного залежно від умов вирощування, т ум. п./га**

Дослід (фактор А)	Рік вегетації (фактор Б)			Разом за три роки	Середнє за роки
	3-й	4-й	5-й		
№1	4,57	2,73	3,76	11,06	3,69
№2	4,79	6,07	5,31	16,18	5,39
Середнє	4,68	4,40	4,54	13,62	–
НІР <sub>05</sub> (фактор А)	0,13	2,74	1,04	3,12	–
НІР <sub>05</sub> (фактор Б)	0,72	–	–	–	–

*Джерело: розраховано автором*

Разом за три роки енергетичний потенціал фітомаси проса прутоподібного був суттєво більшим за вирощування його у західній частині північного Лісостепу (16,2 т ум. п./га), в середньому за роки – 5,4 т ум. п./га; нижчим – у Лівобережно-Дніпровській лісостеповій провінції (11,1 т ум. п./га), в середньому – 3,7 т ум. п./га т/га.

Отже, в умовах Лівобережно-Дніпровської лісостепової провінції на чорноземі типовому потужному слабосолонцюватому, малогумусному, середньо суглинковому найбільший потенціал урожайності вегетативної надземної маси формує просо прутоподібне на третій рік вегетації – на рівні 13,88 т/га, що еквівалентно 4,57 т ум. п./га. За вирощування проса прутоподібного в умовах Дністровсько-Дніпровської лісостепової провінції на сірому лісовому опідзоленому середньо-суглинковому слабокислому ґрунті найбільша урожайність сухої фітомаси формується на четвертий рік вегетації культури (18,45 т/га), що відповідає 6,07 т ум. п./га.

Для визначення шляхів отримання стабільної урожайності проса прутоподібного з високим енергетичним потенціалом фітомаси, як сировини для виробництва біопалива, дослідження в обраному напрямку необхідно поглибити та продовжити.

### **8.15. Сортова специфіка сої та потенціал їх рослинних решток**

© Білявська Л. Г.

*к.с.-г.н., доцент кафедри селекції, насінництва та генетики,  
Полтавська державна аграрна академія, м. Полтава, Україна*

© Білявський Ю. В.

*к.б.н., с.н.с., фахівець II категорії лабораторії селекції,  
насінництва та сортової агротехніки  
Полтавська державна аграрна академія, м. Полтава, Україна*

За підрахунками вчених, ресурсів нафти на планеті вистачить не більше як на 50 років. Раптово зупинити життєдіяльність людини на нашій планеті не можливо. Високий рівень урбанізації обов'язково приведе до невідворотних процесів. Головний енергетичний ресурс у сучасному світі – сировинні ресурси (нафта, газ та ін.), які не відновлюються, а лише поступово зменшуються та зникають [1]. Підтверджується висновок, що людство не має вибору альтернативи у забезпеченні своїх потреб в енергоресурсах, крім залучення нетрадиційних джерел енергії. Так, до відновлюваних джерел енергії можна віднести виробництво енергоносіїв біологічного походження або біопалива. Особливо це стосується сільського господарства.



До альтернативних джерел енергії належать відновлювані, головною перевагою яких є екологічність (геліосистеми, сонячні установки різного характеру дії, вітрогенератори, джерела освітлення, біопаливо, біогаз, біодизель, етанол, метанол, генераторний газ, соломка та брикети, та ін.). Відповідно до Закону України “Про альтернативні джерела енергії” №5-IV від 20.02.2003 р. (2003 р., ст. 155), до альтернативних (відновлюваних) джерел енергії, також відносять енергію біомаси, газ із органічних відходів, а також вторинні енергетичні ресурси.

Розвиток та ефективне використання альтернативних та відновлювальних джерел енергії є вагомим фактором для зміцнення енергетичної безпеки та зменшення негативного техногенного впливу на навколишнє середовище. В ближній час, їх розвиток буде мати головну роль у вирішенні більшості енергетичних питань. А між тим, Україна входить в десятку країн, які є найбільшими споживачами енергетичних ресурсів. Вона, більш на 50 % залежить від імпорту енергетичних ресурсів. Паливно-енергетичний баланс України на сьогодні, не відповідає існуючим запасам ресурсів і тенденціям їх використання. Ця ситуація створює реальну загрозу енергетичної та національній безпеці нашої країни.

В Україні тільки здійснюються перші кроки з дослідження даної проблеми й початкові, не досить впевнені, практичні рішення. Зокрема, Національна академія наук України затвердила програму досліджень “Біомаса як паливна сировина”, результати яких дадуть змогу визначити найбільш ефективні рослини в якості сировини для виробництва біопалива, а також можливість їх ефективно використовувати. Проте теоретичні та практичні дослідження економіко-правових основ розвитку ринку біопалива в нашій країні тільки започатковуються, що є стримуючим фактором виробництва біопалива. Для наукової та практичної реалізації одержання енергії необхідно дослідити ряд принципових проблем, притаманних виключно Україні.

Сільське господарство – є однією з самих вагомих галузей економіки України. Сільськогосподарське виробництво споживає досить значну частку, особливо у вигляді рідкого палива.

До переваг використання альтернативних джерел енергії відносять: економічні, екологічні, технологічні, соціальні.

Останнім часом, все частіше, як енергетичний ресурс, використовується сільськогосподарська біомаса рослин [3; 4]. Існують багато засобів генерації енергії з біомаси (рослини, рослинні рештки, органічні відходи та ін.) [5]. Так, за умов світової енергетичної кризи, вже ведеться прямо спрямований пошук альтернативних джерел енергії.

Біомаса рослин багатьох культур є ефективним енергоносієм, спроможним задовольнити зростаючий попит на чисті та довговічні джерела енергії [5]. Сільськогосподарська біомаса є досить цінним паливом з точки зору охорони навколишнього середовища та особливо викидів парникових газів. Серед різноманіття шляхів конверсії біомаси – її газифікація є одним з найбільш перспективних термодімічних напрямків.

До відновлювальних джерел розвитку набувають енергоносії біологічного походження або біопалива (рис. 4.45).



Рис. 4.45. Енергоносії біологічного походження

Джерело: [11]

Виробництво енергії на базі біомаси рослин є одним з основних напрямів діяльності в області поновлюваних джерел енергії в Україні, існує реальна доступність рослинної біомаси, яка не використовується, а залишається на полі в якості добрива. Сільськогосподарська біомаса різних видів культур має конкретний енергетичний ресурс із визначеної просторово-временної доступністю (технологією) та характеристикою [2]. Так, у Степу України, вихід соєвої соломи досить незначний.

Сприятливою зоною вирощування до теперішнього часу був Лісостеп. Але, останні 5 років, в зв'язку з потеплінням клімату, найбільш оптимальною для культивування є природно-кліматична зона Полісся, де висота рослин сої сягає 1,2 – 1,4 метра. Рослинні рештки конкуруючих культур також відрізняються з географічної ознаки.

Тому, для розробки регіональних програм з біоенергетики, складаються бази даних із вирощування та використання біомаси окремих сільськогосподарських культур.

Також набула тенденція розорювання залежних земельних ділянок в Україні, що є додатковим відсотком у загальному об'ємі для використання рослинної біомаси.

Скоростиглість окремих сортів сої дає можливість отримувати “додатковий урожай”, що надає додатковий прибуток для фермерів та рентабельність господарства.

Законом України “Про альтернативні види рідкого та газового палива” від 14 січня 2000 р. № 1391-XIV [15], передбачено всебічно вивчати потенціал рослинного ресурсу такої унікальної культури як соя та її можливості для використання в якості твердого біопалива.

Соя для України – культура не нова. Створенням сортів сої в Україні займаються понад десять оригінаторів, як державних науково-дослідних установ у структурі НААН, так і приватних фірм, – які створили високопродуктивні сорти сої з відмінними господарсько-цінними властивостями. Але, більшість сортів сої пристосована для окремої ґрунтово-кліматичної зони, де за сприятливих умов вирощування у виробників насіння є можливість повністю використати їх генетичний потенціал.

Вже з 2000 р. в Україні намітилась тенденція до розширення посівних площ і збільшення валових зборів сої. Частина вирощуваної в Україні сої переробляється в олійній, м'ясній та кондитерській промисловості. Соевий шрот використовується для виробництва комбікормів в тваринництві та птахівництві. Але, вітчизняному соєвому ринку не вистачає соєвих шроту та макухи власного виробництва. Переробна промисловість лише починає свій розвиток. Більша частина соєвого зерна є експортним товаром.

Соя в сучасних умовах є найбільш рентабельною культурою. Тому практично в усіх регіонах України площі її посіву значно зросли.

Так, у Державному реєстрі сортів рослин, придатних для поширення в Україні у 2016 р. було занесено 185 сортів сої культурної різниці стиглості – від ультра скоростиглих до пізньостиглих.

З них, української селекції – 115 сортів (62 %) [14; 10]. Кожний створений сорт має свої особливості та напрями використання [6; 16], а їх рештки (стебла, створи, не кондиційне насіння) можуть бути ефективно використані як альтернативне джерело твердого біопалива [8; 9; 17].

Метою досліджень було встановлення рівня сортової специфіки у формуванні основної та побічної продукції сої. Експеримент проводився протягом 2015 – 2017 рр. у лабораторії селекції, насінництва та сортової агротехніки ПДАА (лівобережна Лісостеп України). У сортів різних груп стиглості, на час досягання насіння, визначали показники структури урожаю (маса зерна, маса гілок, маса ступок, загальна маса рослини з насінням, врожай насіння та ін.).

Урожайність основної продукції визначали шляхом перерахунку врожайності кожної культури на стандартну вологість. Вихід побічної продукції встановлювали за допомогою узагальненої оцінки енергетичного потенціалу біомаси.

Потенціал рослинних решток сої ( $P_{pp}$ ) визначали згідно формули (4.67):

$$P_{pp} = V_{3_{оп}} \cdot K_{pp} \cdot (1 - K_b) \cdot K_{ев}, \text{ т} \quad (4.67)$$

де  $V_{3_{оп}}$  – валовий збір основної продукції, т/га;

$K_{pp}$  – коефіцієнт рослинних решток;

$K_b$  – коефіцієнт втрат рослинних решток;

$K_{ев}$  – коефіцієнт використання рослинних решток.

Енергетичний потенціал рослинних решток сої ( $EP_{pp}$ ) визначали згідно формули (4.68):

$$EP_{pp} = P_{pp} \cdot Q/7000, \text{ т у. п.} \quad (4.68)$$

де  $P_{pp}$  – потенціал рослинних решток, т;

$Q$  – нижча теплота згорання рослинних решток, ккал/кг;

7000 – теплотворна здатність 1 кг умовного палива (ум. п.), ккал.

За час проведення досліджень застосовували як загальноприйняті методи [12; 13] так і спеціальні [7].

Вихід побічної продукції встановлювали за допомогою узагальненої оцінки енергетичного потенціалу біомаси [8].

Незначні посіви сої почали відмічати з 1992 р. до 1997 р. посівні площі під соєю значно зменшилися. За період з 2000 по 2006 рр., в Україні намітилась тенденція до збільшення посівних площ і збільшення валових зборів сої. Так, в 2000 р. було посіяно 60,6 тис. га, в 2001 р. – 73 у 2003 р. – 189,6, в 2006 р. – 714 тис. га. В наступні 2007, 2008 та 2009 рр. площа посіву сої дещо зменшилась і

становила відповідно 582,8; 547,7 та 622 тис. га. З 2007 р., почали відмічати значні посухи протягом вегетаційного періоду, що призвело до порушень окремих технологічних процесів (особливо застосування засобів захисту рослин). У 2009 р., площі під соєю становили близько 644 тис. га. Вже в 2010 р. значно площа під соєю значно збільшилася і досягла 1070 тис. га. Крім того, врожайність насіння цієї культури в 2007 та 2008 рр. як і в попередні роки була на рівні 12,2 – 12,4 ц/га. В 2009 і 2010 рр. врожайність підвищилася до 16,8 і 16,5 ц/га, що значно вплинуло на зростання валового збору насіння та цінову політику. Валовий збір насіння цієї стратегічної культури досягав в 2000 р. – 64,4 тис. т, в 2001 р. – 73,9, у 2003 р. – 231,9 і в 2006 – 876,1, у 2007 р. – 721,7, в 2008 р. – 812,9, у 2009 р. – 1042,5 і в 2010 р. – 1765 тис. т.

Так, Української асоціації виробників і переробників сої, в 2015 р., було заплановано зростання площі посіву сої до 2500 тис. га. За середньою врожайністю 1,7 т/га планувалося отримати 4200 тис. т валового збору насіння. Фактично посівні площі під соєю у 2015 р. склали 1922,2 тис. га. За останні 5 років, урожаї сої, в цілому по Україні, перевищили рівень 2 т/га. Це рекордні показники за час виробництва сої в країні.

Основне виробництво культури сої в Україні розміщено в соєвому поясі, до якого входить зона Лісостепу. Вона включає 9 адміністративних областей. Це досить велика територія з придатними для вирощування сої ґрунтами, тепловими, світловими і водними ресурсами, оптимальною тривалістю вегетаційного періоду. На сьогодні, в умовах зони Лісостепу розміщують приблизно 65 % посівів сої, Степу – 25 %, на Поліссі – 10 %.

Кожний окремих сорт має свій генетичний потенціал. Його повне використання можливе лише за оптимальних ґрунтово-кліматичних умов. Тому адаптивний потенціал сорту слід порівнювати та оцінювати до відповідного рівня агроценозу. Найбільш крупними в Україні виробниками сої є Полтавська, Вінницька, Черкаська, Кіровоградська, Київська, Одеська, Харківська, Дніпропетровська та Чернігівська області.

Відсоток скоростиглих сортів є мінімальним. Серед їх недоліків – невисока продуктивність, схильність до розтріскування та відсутність стабільності врожаю по роках.

В сучасних умовах роль скоростиглих сортів сої підвищується в зв'язку необхідністю вирішення проблеми попередників для озимої пшениці. В результаті скорочення посівних площ гороху, яка раніше досягала більше 1 млн. га посівів та яка була гарним попередником під озиму пшеницю почали висівати її по гірших попередниках і часто в пізні строки. Це призвело до порушення традиційних сівозмін й пошуку оптимальних. На тлі потепління клімату, ці порушення призвели до значних втрат врожаю, пересіву озимих культур, ячменю, озимого ріпаку, а це витрата значних коштів. Відсутність наявного ресурсного забезпечення технології вирощування культури, порушення звичайних елементів технології (обробіток ґрунту, норми та строки посіву, елементарні умови внесення гербіцидів) призводить до впливу комплексу стресових чинників, значних втрат врожаю від комплексу шкідливих організмів, втрат якості отриманої продукції, тощо.

Достовірний вплив на врожайність зерна сої, з досліджуваних елементів технології, мали частка впливу способу основного обробітку ґрунту (7 – 5 %), способу сівби (5 – 3 %) і сортових особливостей (25 – 30 %), погодні умови (45 – 50 %) відповідно становила 5,1, 6,5 і 5,3 %; й інші фактори – 18 – 12 %.

Потенціал урожайності скоростиглих сортів нового покоління становить 2 – 2,5 т/га, ранньостиглих 2,5 – 3 т/га, середньостиглих – 3 – 3,8 т/га, пізньостиглих – 4,3 – 5 т/га.

Так, посівні площі сої в Україні склали: у 2012 р. 1434,9 тис. га; 2013 р. – 1362 тис. га; в 2014 – 1615,9 тис. га; а у 2014 р. 1922,2 тис. га. При цьому, у Лісостепу, ці показники були на рівні 896,6 – 1247,2 тис. га. У зоні Степу України цей показник з 2012 р. став зменшуватися з 346,5 тис. га до 279,5 тис. га. В той же час, в умовах Полісся, посівні площі сої почали збільшуватися: з 166,1 тис. га в 2012 р. до 395,5 тис. га – в 2015 р.

Відповідно показнику валового збору зерна та коефіцієнту відходів, розрахована кількість рослинних решток сої в Україні за період 2006 – 2014 рр., яка надана у рис. 4.46.

Так, зі збільшенням валового збору зерна підвищується кількість рослинних решток сої. Кількість решток сої по роках досліджень та динаміка коефіцієнта рослинних решток змінювалася залежно від рівня врожайності культури. В 2014 р., кількість рослинних решток сої, досягла рівня 6000 тис. т. Так, в 2016 р., (посівна площа сої в Полтавській області – 182,4 тис. га) коефіцієнт перерахунку на рештки склав 2,6 при виході пожнивних решток 1232,9 тис. т.

Біоенергетичний аналіз представляє співвідношення накопиченої енергії у врожаї культури до затрат енергії на її виробництво. Основними показниками за проведення біоенергетичного оцінювання технології є вихід валової енергії на 1 га посіву, затрати енергії на 1 га посіву та коефіцієнт енергетичної ефективності. Аналіз показників енергетичної ефективності показав, що в середньому за 2009 – 2014 рр.

середній вміст загальної енергії в врожаї сої по різних сортах був відмічений на рівні 39000 у ранньостиглих сортів та 45000 МДж/га у пізньостиглих. При цьому, затрати енергії на вирощування сортів сої склали відповідно 17000 – 17500 МДж/га, а коефіцієнт енергетичної ефективності – 2,28 – 2,6. Затрати сукупної енергії за вирощування сої були в межах 17000 – 25500 МДж/га.

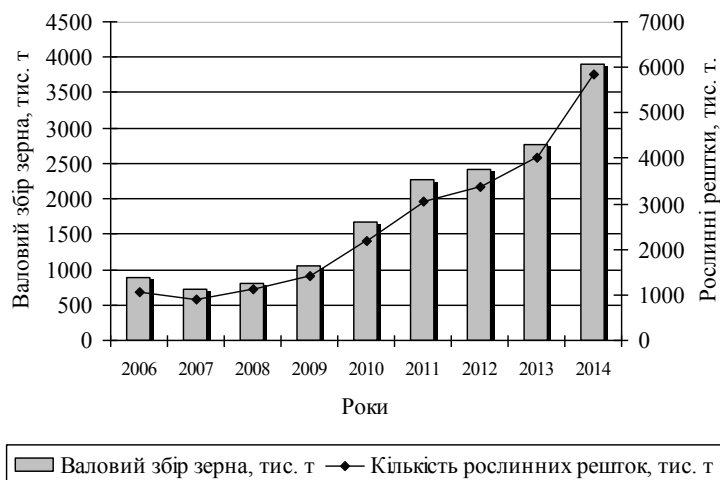


Рис. 4.46. Валовий збір зерна та кількість рослинних решток сої в Україні, 2006 – 2014 рр.  
Джерело: розрахунки авторів

Кожний сорт сої формує відповідну якість насіння. Хімічний склад насіння сої може бути наступним: білок – 30 – 45 %, вуглеводи – 20 – 32 %, жир – 13 – 26 %, клітковина – 2,9 – 11, зола – 4,5 – 6,8 % [7].

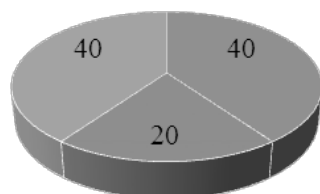
Величина теоретичного потенціалу відходів є досить нерівномірною по роках і залежить, головним чином, від урожайності сортів сої. Величина технічного потенціалу обмежується наявною технологією збирання врожаю.

В середньому, для України, теоретичний та енергетичний потенціал рослинних решток сої складає близько 50 %. Так, на 1 тону зібраного насіння сої припадає до 1 т решток.

Вторинні відходи – такі, що генеруються при обробці врожаю на підприємствах (80 % соєвої сировини переробляється на шрот і олію, яка містить високоенергетичні жирні кислоти, а також, відходи очистки насіння.

За даними вчених, коефіцієнт відходів сої умовно дорівнює 1; коефіцієнт втрат – 0,1; а коефіцієнт енергетичного використання – 1.

З метою визначення потенційної продуктивності рослинних решток сої проаналізовано по 100 рослин різних сортів сої. Визначили їх середню масу однієї рослини з насінням (20 – 60 г), масу насіння (10 – 30 г або 40 – 60 %) та масу решток сої з 1 рослини (стебла та стулки бобів) – 15 – 35 г або 60 – 40 % (рис. 4.47 та 4.48).



■ насіння    ■ рештки (стулки бобів)    ■ рештки (стебла)

Рис. 4.47. Структурний склад рослин сої за мінімального значення показника насіння (середньостиглі та пізньостиглі)

Джерело: авторська розробка

Отже, згідно рис. 4.47 і 4.48, частка рослинних решток сої може змінюватися та залежать від багатьох факторів: групи стиглості сорту, розміру насіння, висоти рослин, окремих елементів технології, ґрунтово-кліматичних умов, регламентів застосування хімічних засобів захисту рослин, строків збирання врожаю, методів та засобів збору рослинних решток й їх транспортування.

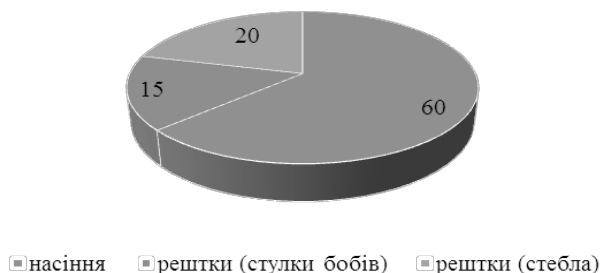
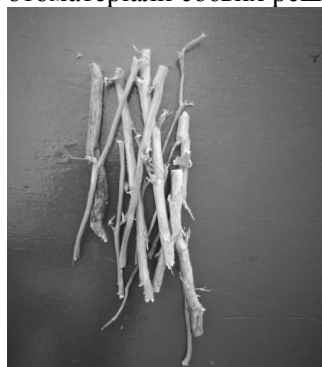


Рис. 4.48. Структурний склад рослин сої за максимального значення показника насіння (скоростиглі та ранньостиглі сорти)

Джерело: авторська розробка

У перерахунку на 1 га, за густоти стояння рослин 700 тис. шт./га, потенційна маса решток сої (стебла та студки бобів) може становити 2 – 3 т.

Фотоматеріали соєвих решток (стебла та студки бобів) залежно від сорту подано на рис. 4.49.



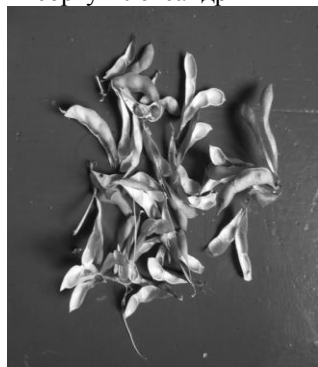
1. Рештки (стебла) рослини сорту Александрит



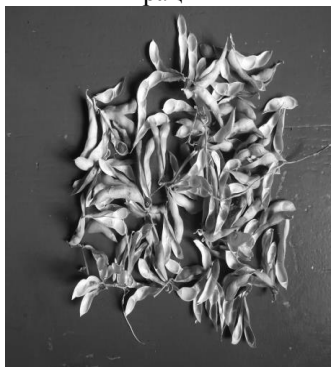
2. Рештки (стебла) сорту Антрацит



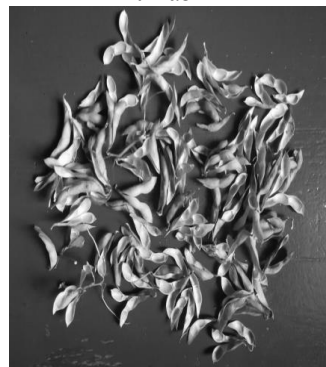
3. Рештки (стебла) сорту Алмаз



4. Студки з 1 рослини сорту Александрит



5. Студки з 1 рослини сорту Антрацит



6. Студки з 1 рослини сорту Алмаз

Рис. 4.49. Вигляд соєвих решток (стебла та студки бобів) у залежності від сорту

Джерело: авторська розробка

На рис. 4.50 представлені урожайні дані сортів Антрацит (скоростиглий), Алмаз (ранньостиглий) та Васильківська (середньо-ранньостигла) й кількість рослинних решток (т/га).

Висота рослин у сорту Антрацит була 78 см, у сорту Алмаз – лише 70 см. Самими високими були рослини середньо-ранньостиглого сорту Васильківська. Відповідно коефіцієнту рослинних решток було співвідношення валових зборів решток та вихід пожнивних решток.

Якість вирощеного насіння сої, залежить від багатьох факторів. Найбільш ціним в насінні сої є, в першу чергу, рослинний білок, вміст якого може бути в межах 35 – 50 %. Відсоток олії коливається в межах 20 – 26 %. Вміст білка і олії є провідними показниками, що визначають якість насіння сої. У сортів різного еколого-географічного походження ці показники мають значну мінливість, чинниками якої є генотипові відмінності сортів та вплив умов довкілля.

Між вмістом білка і олії в зерні сої існує тісний зворотний зв'язок. Високий показник вмісту білку та олії спостерігали у сорту Антрацит (39 – 40 та 22 – 26 %), Легенда (39 – 40 та 2 – 21 %), Алмаз (36 –

39 та 22–23 %), Київська 27 (36–39 та 21–23 %). Інокуляція насіння частково сприяє підвищенню цих показників. Але, частіше, вплив на ці процеси оказують кліматичні умови та елементи технологічного процесу.

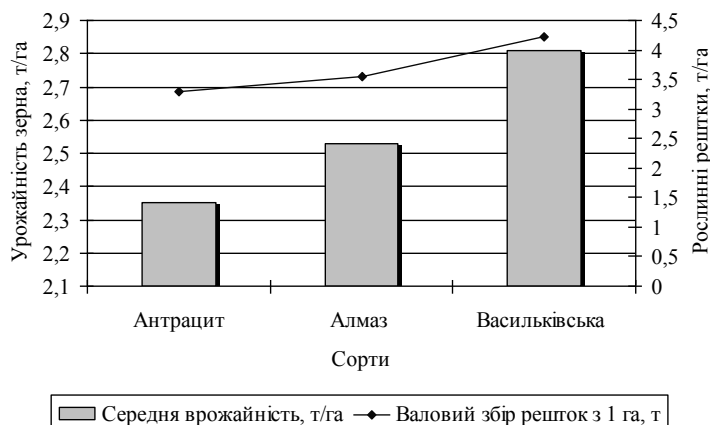


Рис. 4.50. Урожайність та валовий збір рослинних решток сортів сої, 2014 – 2016 рр.

*Джерело: розрахунки авторів*

За умов середньої вартості соєвих решток в розмірі 500 грн/т, враховуючи валовий збір з 1 га, наведемо загальну вартість побічної продукції за сортами різної групи стиглості: сорту Антрацит – 16450 грн/га, сорту Алмаз – 17700 грн/га, сорту Васильківська – 21100 грн/га. Перебування соєвих решток на полі призводить до зміни її вологості та сприяє вимиванню хлору та калію, що підвищує якість відходів як палива.

Отже, Україна, як й Полтавська область має значний потенціал альтернативного енергетичного соєвого продукту. Коефіцієнт рослинних решток сої коливається в межах від 1 до 1,8 та залежить від показника посівних площ, урожайності культури та ґрунтово-кліматичних чинників.

Вихід поживних решток з 1 га (т) у сорту Антрацит – 3,29 т за врожайності 2,35 т/га, у сортів Алмаз і Васильківська, відповідно 3,54 і 4,22 за врожайності 2,53 і 4,22 т/га.

Вихід поживних решток, за посівній площі сої в 2016 р. – 182,4 тис. га, становив близько 1232,9 тис. т. При реалізації цієї додаткової продукції, як сировини для біопалива, можна отримати 616450 грн.

Використання біосировини, як побічної продукції сої, не має негативного впливу на економічну, екологічну та продовольчу безпеку країни. З урахуванням агроекологічного обґрунтування, цей перспективний напрям використання сприятиме розширенню посівних площ під соєю, збільшенню її виробництва та відкриє нові перспективи для її виробників.

Отримана інформація, особливо буде корисної для розробки регіональних програм з біоенергетики та складання бази даних з вирощування та використання рослинної біомаси в якості енергетичного потенціалу.

### **8.16. Організація формування й перспективи використання біоенергетичного потенціалу підприємств агробізнесу**

© Ігнатенко М. М.

*д.е.н., професор, завідувач кафедри економіки,*

*Переяслав-Хмельницький державний педагогічний університет ім. Г. Сковороди,*

*м. Переяслав-Хмельницький, Україна*

Глобальні продовольчі проблеми, обмеженість земельних ресурсів, дефіцит продовольства та справжній голод у країнах третього світу в останнє десятиріччя дещо зменшили актуальність і теоретичних досліджень питань, і практичних впроваджень проектів формування та розвитку біоенергетики в аграрних підприємствах як конкурентного для сільського господарства виду діяльності [1, с. 52]. Проте загострення проблем енергетичної безпеки та незалежності національних економік, зокрема, у Європі, у т. ч. й вітчизняної, необхідність консервації невідновних традиційних стратегічних джерел та видів енергетичних ресурсів, їх висока вартість з однієї сторони, а також суттєве збільшення продуктивності сільськогосподарських земель, обсягів сільськогосподарської й продовольчої продукції – з іншої, – знову актуалізували проблему формування та використання біоенергетичного потенціалу аграрних підприємств.

Погоджуючись з визначенням Н. Зіновчук, біоенергетичний потенціал аграрних підприємств розуміється нами як сукупність усіх джерел природного або техногенного сільсько- або/та лісгосподарського походження для виробництва енергоресурсів [2, с. 104]. Йдеться як про первинні ресурси у вигляді спеціального виробництва енергоємкої рослинної біомаси (тритикале, сорго, соняшнику, козлятнику, верболозу та ін.), так і про вторинні відходи аграрного виробництва або переробки сільськогосподарської й деревної сировини (солома, лушпиння насіння, тирса та ін. деревні відходи, відходи обрізки дерев і виноградників, біогаз).

Пріоритетами його формування, зокрема, на півдні країни, визначені: енерго- та ресурсозбереження на основі виробництва та реалізації деревних пелет з використанням наявної сировини – необмежених запасів верболозу та очерету дельти Дніпра, рисової соломи рисосіючих господарств. При цьому очікуються наступні результати та наслідки для сільських громад і довкілля:

- основні – енергозбереження; збереження традиційних видів невідновних енергетичних ресурсів – вугілля, газу, нафти і т.п.; зменшення собівартості за рахунок цього виробництва продукції та надання послуг;

- додаткові – очищення дельти р. Дніпро від зарослів верболозу та очерету, які щорічно знищують пожежами на тисячах гектарів, наносячи непоправну шкоду фауні та флорі, забруднюючи повітря м. Херсон та інших міських і сільських поселень;

- продуктивне використання рисової соломи, яка, на відміну від інших видів, не має великого попиту у тваринництві;

- збереження від несанкціонованих вирубок в умовах дефіциту та дорогого традиційного палива деревних насаджень, які для сухостепової зони країни є справжнім національним надбанням;

- збільшення зайнятості населення та зростання добробуту, особливо на рівні сільських родин.

На думку М. Ігнатенка, засобами досягнення громадської підтримки формування біоенергетичного потенціалу в агросфері на засадах соціальної відповідальності є проведення зустрічей, тренінгів, круглих столів з інформуванням про наявні джерела, переваги, вигоди такої роботи; надання консалтингових послуг з відповідними розрахунками; розробка та впровадження бізнес-планів для рисосіючих та ін. підприємств; інформування про переваги використання цього виду палива споживачів; видання відповідних науково-методичних розробок та рекомендацій [3, с. 301].

В якості майбутніх користувачів та інших зацікавлених груп визначені фізичні особи, власники особистих селянських господарств; фермерські та ін. аграрні підприємства; навчальні та лікарняні заклади та організації, інші підприємства; сільські громади, районні та обласні органи влади; бізнесові структури; наукові установи; громадські організації в причорноморських областях України та адміністративних утвореннях Румунії і Молдови.

Партнерами в організації формування біоенергетичного потенціалу можуть бути сільська громада та сільська рада с. Антонівка Скадовського р-ну; райдержадміністрації та Ради народних депутатів, окремі сільради та сільські громади Білозерського, Скадовського, Голопристанського, Новотроїцького районів, Інститут рису НААНУ (за потреби), ПВНЗ “Міжнародний університет бізнесу і права”, громадська організація “Інститут соціальної відповідальності” (м. Херсон); сільська громада с. Вавілове Снігурівського району Миколаївської області та районні владні структури.

Актуалізує проєкт створення біоенергетичного потенціалу на засадах використання нетрадиційних біоджерел наступна інформація: у Херсонській області проживає 1,07 млн. осіб, з них у селах 413,1 тис. або 37,8 %. При цьому села є, переважно, малолюдними (500 – 600 жителів) та значно віддалені одне від одного. Згідно наших розрахунків, на 100 км<sup>2</sup> приходить 2 – 3 сільські поселення. Також найменшою в країні є щільність сільського населення. Вона дорівнює 14 – 15 осіб на 1 км<sup>2</sup> території. Причому і це населення розміщене вкрай нерівномірно – від найменшого значення 12 осіб/км<sup>2</sup> у Верхньорогачицькому до 22 осіб/км<sup>2</sup> – у Високопільському.

В таких умовах важко технічно й недоцільно економічно здійснювати енергозабезпечення життєдіяльності традиційними методами та енергоресурсами [4, с. 205]. Досить високовартісним для бідного сільського населення є встановлення сонячних батарей та вітроустановок – відповідно, від 10 до 25 тис. євро при терміні окупності 10 – 15 років. За теперішніх доходів селян на рівні середньомісячної зарплати у 75,5 % від прожиткового мінімуму 1700 грн./місяць та середньої української мінімальної зарплати у 3700 грн (2018 р.), що є еквівалентним 60 – 110 євро, при тотальній економії та без державної підтримки, доступних кредитів сільській родині треба економити кошти мінімум 10 років, що мало реально або нереально взагалі.

З іншої сторони, підвищення цін на енергоносії на порядок зробило опалення газом та електроенергією, використання їх на виробничі потреби практично не доступним. Також воно не тільки призводить до підвищення собівартості продукції та послуг, але й до масштабних несанкціонованих вирубок лісу, лісосмуг, полезахисних насаджень.

Слід зазначити, що на Херсонщині у кінці 40-х – протягом 50-х років була здійснена безпрецедентна у світовій практиці меліорація довкілля через насадження лісів, що в зоні Сухого Степу з кількістю опадів 300 – 450 мм/рік мало виняткове значення та сприяло, поряд із впровадженням зрошення у 60 – 70-і рр.: виникненню унікальних лісових біоценозів; зменшенню вітрової ерозії; покращенню якості та процесів відтворення ґрунтів; збільшенню урожайності сільськогосподарських культур; урізноманітненню ландшафтів, біогеоценозів та підвищенню їх стійкості; організації сільського зеленого туризму [5, с. 13].

Тому вирубки штучних деревних насаджень при загальних вкрай недостатніх показниках заліснення території у 151,1 (з них лісовкриті – 130) тис. га або 4,6 – 5,4 % території призводить до згубних наслідків і в плані погіршення екологічної ситуації та умов життєдіяльності, й ефективності аграрного виробництва, розвитку сільських територій загалом. Вона також коливається від 0,8 до 20,4 % по адміністративних районах, а середній вік дерев переважно, акацій та сосен, становить 40 – 45 років.

Загальний обсяг деревостанів складає 8,8 млн. м<sup>3</sup>, а відтворення здійснюється на площі 1,1 – 1,5 тис. га щорічно, що явно недостатньо навіть відносно існуючих площ на рівні 0,7 – 1 %. Так, внаслідок цього навіть утворилася єдина в Європі пустеля – “Олешківські піски”. Для зменшення поширення якої, що небезпечно для відтворення навколишніх автентичних степових ландшафтів, практично нічого не здійснюється. Навпаки, вона використовується як туристична атракція – полігон для квадроциклів, що погіршує екологічну ситуацію й не можна виправдати.

У Херсонській області щороку накопичується 1,7 млн. т соломи зернових культур, 13 тис. т лушпиння олійних, 22 тис. т відходів олійних культур. Переробка лише 35 тис. т з них дає 31,8 тис. т паливних брикетів. Вони здатні замінити споживання 15,2 млн. м<sup>3</sup> природного газу та замінити 3 % в структурі енергозабезпечення.

Враховуючи, що потенціал їх переробки можна збільшити, принаймні, у 20 – 40 разів (тваринництво в області є практично згорнутим, адже поголів'я тварин, за винятком галузі птахівництва, зменшено на порядок і більше), ця переробка дозволить покрити 30 – 40 % обласних потреб у природному газі. Це тим більше актуально у зв'язку з тим, що єдиним на Херсонщині енергогенеруючим підприємством є Каховська ГЕС. Маючи середньорічне виробництво понад 1,5 млн. МВт електроенергії, обслуговуючи понад 465,3 тис. абонентів, вона побудована у 60-х роках, має зношені потужності та потребує капітальної реконструкції й модернізації.

До цього слід додати практично невичерпні ресурси верболозу у Дніпровських плавнях. У Швеції насадження верболозу займають понад 20 тис. га та забезпечують виробництво 30 – 40 т/га пелет. На 3-й рік після посадки вони досягають найвищої продуктивності, збираються спеціальними комбайнами 1 раз на 3 роки та можуть вирощуватися протягом 20 – 30-ти років на одному місці. Потім можуть бути перезакладені або замінені іншими культурами у сівозміні.

У Європі виробництво пелет зростає небувалими темпами. Так, у Німеччині воно досягло 6 млн. т у 2015 р. з 11 тис. т у 2000 р., тобто за 15 років зросло у 5,5 разів. Урядовою програмою Швеції передбачено виробництво 9 млн. т пелет. Але їх ринок в ЄС є абсолютно дефіцитним. Світове виробництво на 2020 р. прогнозується довести до 100 млн. т. В Україні виробництво пелет перебуває на рівні 400 тис. т деревних та 400 тис. т з соломи та соняшнику. На 85 % воно орієнтується на країни ЄС та зростає на 5 – 20 % щорічно. При цьому вітчизняний потенціал збільшення є дуже значним – до 4 млн. т тільки на готовій сировині із відходів. За даними Б. Сидорука, близько 1,2 млн. т соломи і рослинних сільськогосподарських відходів (лушпиння, рослинних решток соняшнику), понад 2 млн. м<sup>3</sup> деревини залишаються невикористаними [6, с. 64]. За умови додаткових насаджень верболозу показник потенціалу можна подвоїти вже в найближчі 3 роки. Враховуючи, що площа Нижньодніпровських плавнів – унікального біогеоценозу у дельті головної ріки України Дніпра – становить 110 тис. га, де верболіз росте природним способом, виробництво пелет можна збільшити до 15 – 20 млн. т, якщо взяти за основу розрахунків продуктивність насаджень лози у Швеції.



## Розділ 5

ТЕХНІЧНІ РІШЕННЯ В  
ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННІ ТА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ

## 5.1. Перетворення вітрової енергії безпосередньо в теплоту

© Жарков В. Я.

*к.т.н., доцент, Таврійський державний агротехнологічний університет, м. Мелітополь, Україна*

© Жарков А. В.

*інженер, Таврійський державний агротехнологічний університет, м. Мелітополь, Україна*

© Галько С. В.

*к.т.н., доцент, Таврійський державний агротехнологічний університет, м. Мелітополь, Україна*

У всьому світі питання енергозбереження стоїть все більш актуальним. Це не тільки економічна вигода для споживачів та зменшення навантаження на електричні мережі, а також, збереження навколишнього середовища для наших нащадків. Європейський Союз зобов'язався знизити своє щорічне споживання первинної енергії на 20 % до 2020 р. [39].

Згідно з вимогами Європейського Союзу, частка відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) у національному енерговиробництві країн, що прагнуть до вступу в Європейське співтовариство, повинна становити не менше 6 %, або з врахуванням великої гідроенергетики – не менше 12 %. За попередніми розрахунками, у 2017 р. у світі було встановлено рекордні 160 ГВт потужностей з ВДЕ. З них 98 ГВт дають сонячні електростанції, 56 ГВт – вітрові [12].

За станом на кінець 2014 р. у всьому світі було встановлено 945000 малих ВЕУ потужністю 830 МВт [41]. Найбільша частка малих ВЕУ, як і раніше, знаходиться в трьох країнах: Китай – 41 % нових потужностей, США – 30 % і Великобританії – 15 %. Китай продовжує залишатися лідером [34] за доданими ВЕУ – близько 64000 од., досягнувши 689000 од., встановлених до кінця 2014 р.

WWEA прогнозує, що до 2020 р. загальна встановлена потужність малих ВЕУ у світі досягне 5 ГВт, а ринок нових невеликих ВЕУ – близько 1 ГВт [40].

У більшості розвинених країн заплановано у першій половині XXI ст. довести частку ВДЕ в загальному енергобалансі до 20 – 50 %. Адже енергонезалежність країни полягає у ефективності споживання енергоресурсів та диверсифікації джерел енергії [41].

Досягнення ж України у впровадженні ВДЕ важко назвати суттєвими [9]. У табл. 5.1 наведені встановлені потужності та генерація електроенергії з ВДЕ. Вони генерують менше 2 % електроенергії, що споживається в Україні, хоча у нас один з найбільш вигідних “зелених” тарифів серед європейських країн [12].

Таблиця 5.1

**Встановлена потужність та обсяг виробленої електроенергії об'єктами ВДЕ України, 2010 – 2014 рр.**

Напрямок відновлюваної енергетики	Встановлена потужність, МВт					Виробництво електроенергії, млн. кВт-год.				
	2010 р.	2011 р.	2012 р.	2013 р.	2014 р.	2010 р.	2011 р.	2012 р.	2013 р.	2014 р.
Вітроенергетика	76,6	146,4	193,8	334,1	513,9	49,2	89	257,5	636,5	1171,5
Сонячна енергетика	2,5	188,2	371,6	748,4	818,9	0,5	30,1	333,6	562,8	485,2
Мала гідроенергетика	62,5	70,8	73,5	75,3	80,3	192,5	203,4	171,9	286	250,7
Біомаса	4,2	4,2	6,2	17,2	35,2	0,002	9,6	17,7	32,4	60,9
Біогаз	–	–	–	6,5	13,9	–	–	–	5	39,3
Всього	145,8	409,6	645,1	1181,5	1462,2	242,2	332,1	780,7	1522,7	2007,6

Джерело: [41]

Збільшення обсягів використання ВДЕ в енергетичному балансі України дасть змогу підвищити рівень диверсифікації джерел енергоносіїв, що сприятиме зміцненню енергетичної незалежності держави. Передбачається збільшення частки ВДЕ у загальному балансі встановлених потужностей до рівня близько 20 % в до 2020 р.; забезпечити більш широке залучення об'єктів інтелектуальної власності до процесу розвитку сфери ВДЕ [45].

При вирішенні питання узгодження потреб споживачів з можливостями ВДЕ значно поліпшиться енергобаланс приватних домогосподарств і Об'єднаної енергетичної системи України (ОЕСУ).

Окрім розвитку комерційної відновлюваної енергетики, в Україні є необхідність розвивати некомерційну, в першу чергу, “сільську”, “фермерську”, “для двору”. Такі самостійні невеликі системи служать децентралізації енергопостачання, дозволяють диверсифікувати джерела енергії, зробити більш енергонезалежною Україну, і фермерів зокрема [15].

На опалення і гаряче водопостачання у світі витрачається близько третини палива. Витратити високоякісну електричну енергію на отримання низькопотенційної теплоти (НПТ) протирічить здоровому глузду. НПТ необхідно отримувати від ВДЕ – за рахунок енергії вітру, Сонця, біомаси, теплових насосів (ТН) та когенераційних технологій з енергоефективними засобами їх реалізації [4].

В Швеції запатентована установка для отримання гарячої води. Вода циркулює в замкнутому об’ємі з досить високою швидкістю, при цьому енергія руху за рахунок тертя перетворюється в теплову енергію, і може бути досягнута висока температура води [32].

На о. Гримсей (біля північних берегів о. Ісландія) випробовувалася установка прямого перетворення енергії вітру в теплоту за допомогою водяного гальма [36]. Недоліком таких установок є їх громіздкість, що утрудняє їх використання у фермерських господарствах.

Більш прийнятною, на наш погляд, є вітротеплова установка (ВТУ), що перетворює енергію вітру в теплоту при переміщенні густої рідини через невеликі отвори або щілини [37]. До складу такої ВТУ входить ВЕУ і шестерінчастий насос, який переміщає в’язку рідину через малі отвори, нагріваючи її при цьому. Приведена порівняльна оцінка ефективності ВТУ з фіксованими розмірами отворів і регульованими отворами для переміщення рідини [37]. Відмічений позитивний досвід застосування ВТУ з вертикальною віссю обертання для обігріву і гарячого водопостачання теплиць площею 1000 м<sup>2</sup> в пункті з середньорічною швидкістю вітру 4,5 м/с за результатами річних її випробувань [38].

У ТДАТУ запропонований індукційний спосіб перетворення енергії вітру в теплоту, який вигідно відрізняється від попередніх, та установки для його реалізації [4]. Останні засновані на збудженні вихрових струмів в магнітопроводах (МП). Розроблено декілька конструкцій ВТУ з індукційним перетворювачем енергії вітру в теплоту (ПЕВТ), які захищені патентами України [15].

Перші ПЕВТ містили індуктор у вигляді індукційної обмотки збудження, розташованої на нерухомому кільцевому МП, збудженої постійним струмом, та рухомий кільцевий МП, жорстко зв’язаний з валом вітродвигуна (ВД), що обертається за рахунок енергії вітру [15]. Кільцеві МП установлені співвісно з фіксованим зазором між прилеглими торцями в резервуарі з теплоакumulюючою рідиною. У прилеглих торцях МП виконано по кільцевій канавці і радіальні пази з постійним кроком. За рахунок енергії вітру вал ВД, а разом з ним і рухомий МП обертаються. Зубці МП намагнічуються магнітним полем збудження в одному напрямі одночасно. Із-за зубцевої будови торців магнітний потік, що замикається через них, буде змінюватися в часі: магнітний потік збільшується, коли зубець рухомого МП розташовується над зубцем нерухомого, і буде зменшуватися, коли зубець рухомого МП буде розташований над пазом нерухомого. При цьому між зубцями МП змінюється зазор, а отже і магнітна індукція в ньому [4; 15]. Індукція в зазорі пульсує, не змінюючи знаку від  $B_{\delta\max}$  до  $B_{\delta\min}$ . Її можна представити у вигляді двох складових:

змінної з амплітудою:

$$B_{\delta-} = 0,5 (B_{\delta\max} - B_{\delta\min}), \quad (5.1)$$

і постійної, рівної:

$$B_{\delta=} = 0,5 (B_{\delta\max} + B_{\delta\min}). \quad (5.2)$$

Змінна складова магнітного поля індукуює в магнітопроводах ЕРС і вихрові струми частотою:

$$f = Zn, \quad (5.3)$$

де  $Z$  і  $n$  – кількість зубців і частота обертання рухомого МП, с<sup>-1</sup>.

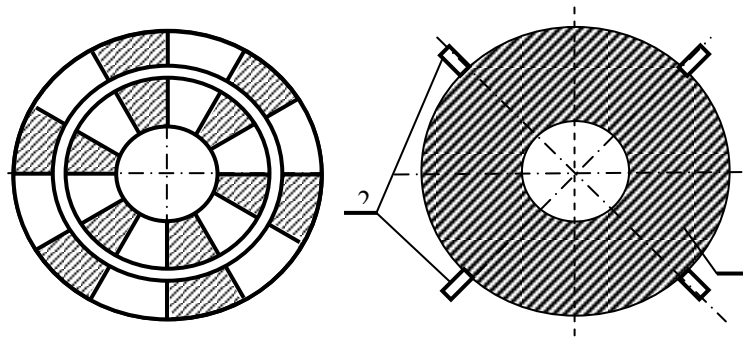
Вихрові струми за законом Джоуля – Ленца нагрівають МП, а ті нагріватимуть теплоакumulюючу рідину в резервуарі, яка може використовуватися для обігріву споруд, парників та теплиць [4; 15].

Постійна складова магнітного потоку ніяких ЕРС не індукуює, тому ця частина магнітного потоку не приймає участі в перетворенні вітрової енергії в теплову. Чим більша швидкість вітру і швидкість обертання вала ВД, тим більшою буде величина і частота індукованої ЕРС і вихрових струмів, що нагрівають МП, тим більше теплоти виділятиметься в них, а останні нагріватимуть теплоакumulюючу рідину в резервуарі.

Для усунення ЕРС самоіндукції в індукційній обмотці збудження запропоновано збільшити кількість зубців в рухомому МП в число разів кратне двом по відношенню до нерухомого МП. В результаті, змінний магнітний потік в зазорі індукуює ЕРС тільки в рухомому МП. При цьому через обмотку збудження буде проходити постійний магнітний потік, який ЕРС в ній не індукуює [4; 15]. Недолік таких конструкцій ПЕВТ є його початкова інерційність із-за збільшення моменту зрушення ротора при залипанні намагнічених зубців.

Цей недолік усунений в запатентованому пат. 22765, малоінерційному ПЕВТ, що містить нерухомий індуктор (рис. 5.1) у вигляді нерухомих МП (рис. 5.1, а) ідентичного виконання з

зубчастою будовою прилеглих поверхонь та індукційними обмотками збудження, розташованими в кільцевих канавках своїх МП та дисковий ротор (рис. 5.1, б) з немагнітного електропровідного матеріалу, розташований між МП і жорстко зв'язаний з валом ВД [15].



а) б)  
Рис. 5.1. Малоінерційний ПЕВТ, пат. 22765:

а) нерухомий МП з зубчастою поверхнею, б) дисковий ротор з лопатями

Джерело: авторська розробка

Проте виконання дискового ротора із немагнітного провідникового матеріалу призводить до збільшення магнітного опору магнітному потоку, що замикається через протилежні зубці магнітопроводів, а отже – до збільшення струму намагнічування індуктора [15]. Для усунення останнього недоліку запропоновано виконати дисковий ротор ПЕВТ в вигляді “Сандвічу” – сталюого диску із маловуглецевої сталі з відносно великою магнітною проникливістю, наприклад сталі 10, покритого з обох сторін шаром немагнітного матеріалу з високою електропровідністю, наприклад, сплаву на базі алюмінію чи міді (рис. 5.2).

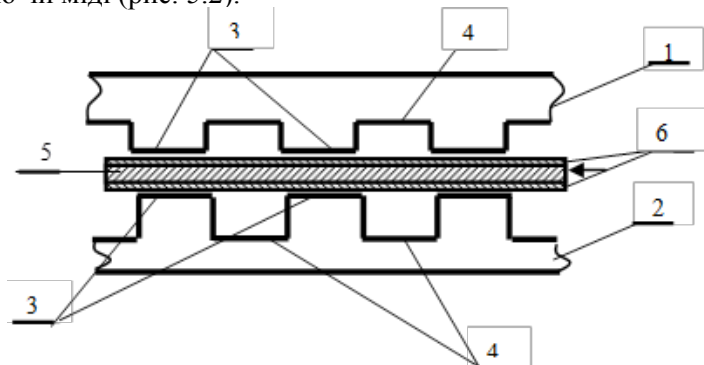


Рис. 5.2. Схематичне зображення малоінерційного ПЕВТ з ротором, пат. 22765

Джерело: авторська розробка

При обертанні дискового ротора 5 в його елементарних замкнутих контурах буде індукуватися вихрова ЕРС:

$$e = \frac{d\Phi}{dt}, \quad (5.4)$$

тобто ЕРС пропорційна швидкості зміни магнітного потоку  $\Phi$  між полюсами 3 (зубцями) МП 1,2. Якщо ж розглядати наведення ЕРС в елементарних провідниках ротора 5, то буде справедлива формула:

$$e = Blv, \quad (5.5)$$

де  $Bl$  – активна довжина провідника, що рівна довжині полюса;

$v$  – швидкість переміщення якоря відносно полюса.

Якщо величину магнітного потоку полюса  $\Phi$ , що пронизує розглянутий контур, записати як:

$$\Phi = Blx, \quad (5.6)$$

а швидкість переміщення як:

$$v = \frac{dx}{dt}, \quad (5.7)$$

де  $x$  – координата переміщення якоря відносно полюса, то вирази (5.4) і (5.5) дадуть однакові результати.

Під дією елементарних ЕРС в якорі утворюються вихрові струми, які за законом Джоуля-Ленца нагрівають дисковий ротор (якір):

$$P = \frac{e^2}{R}. \quad (5.8)$$

Причому верхні шари ротора типу “Сандвіч” будуть нагріватися більш інтенсивно, оскільки вони виготовлені із матеріалу з більшою електропровідністю. Для покращення тепловіддачі і примусового переміщення теплоносія по ободу диска 1 розміщені лопаті 2 (рис. 5.1, б).

Для усунення динамічних навантажень на МП і фундамент запропоновано, нерухомий МП виготовляти з зубцями розташованими в шаховому порядку, розділеними канавкою на рівні за площею [15]. Якщо на зовнішні зубці нерухомого МП, установити додаткові обмотки збудження, з'єднати їх паралельно і через випрямляч підключити до кільцевої обмотки збудження, то отримаємо вітровий теплогенератор з самозбудженням, пат. 64568А [15].

Недоліком попередніх ВТУ з ІПЕВТ є великі масогабаритні розміри. Вони придатні для обігріву парників та теплиць і проблематичні для обігріву інших сільськогосподарських будівель і житлових будинків.

Відома також ВТУ [33], запатентована в США, до складу якої входить електронагрівач, дія якого заснована на збудженні вихрових струмів. Вертикально розташований ротор електронагрівача приводиться в обертання від горизонтального вала крильчастого ВД через конічний редуктор, розміщеними на даху житлового будинку. Недоліком відомої ВТУ [33] є її низька надійність і негативний вплив на самопочуття мешканців, обумовлені розташуванням конструкції з конічним редуктором на даху житлового будинку.

Розроблений проточний коаксіальний вітроелектромеханічний нагрівач (рис. 5.3) містить [30] ВД 1 з вихідним валом 2, ІПЕВТ 3 у вигляді рухомого МП 4 і нерухомого МП 5 циліндричної форми, розташованих коаксіально, з зубчатою будовою прилеглих поверхонь, і кільцевої обмотки збудження 6, розташованої в кільцевій канавці 7, підшипники 8, 9, які закріплені в підшипникових щитах 10, 11 з немагнітного матеріалу. На прилеглих поверхнях МП 4,5 розташовані повздовжні зубці 12, 13, утворені повздовжніми пазами 14, 15.

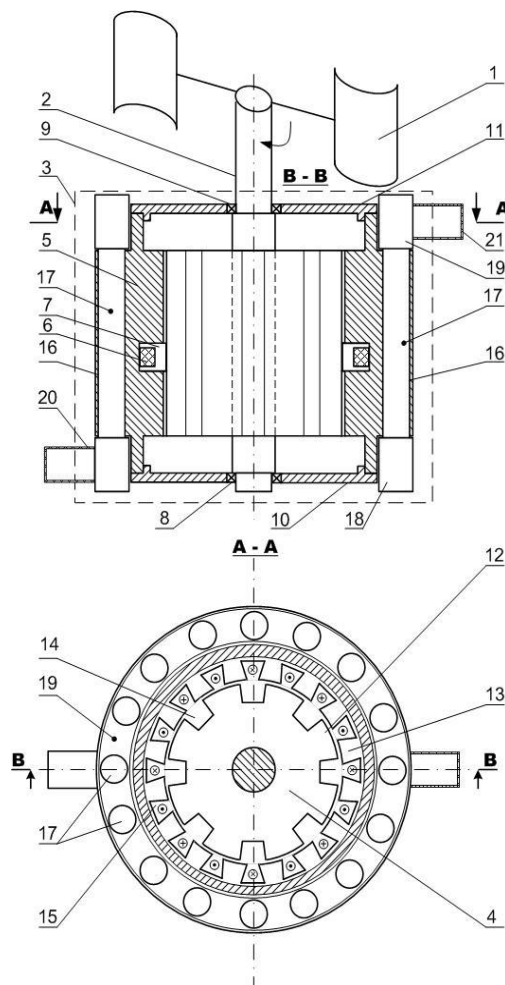


Рис. 5.3. Проточний коаксіальний вітроелектромеханічний нагрівач, пат. 118880  
Джерело: авторська розробка

По периферії нерухомого МП 5 виконані крізні вертикальні отвори 16, в які поміщені охолоджувальні трубки 17 із антикорозійного матеріалу, герметично сполучені нижнім 18 і верхнім 19 трубчатими колекторами прямокутного перерізу з входним 20 і вихідним 21 патрубками холодної і нагрітої рідини (води). У пазах 15 нерухомого МП 5 розташовані якірні котушки 23, з'єднані паралельно і через регулювальний випрямляч 24 приєднані до обмотки збудження 11 (рис. 5.4).

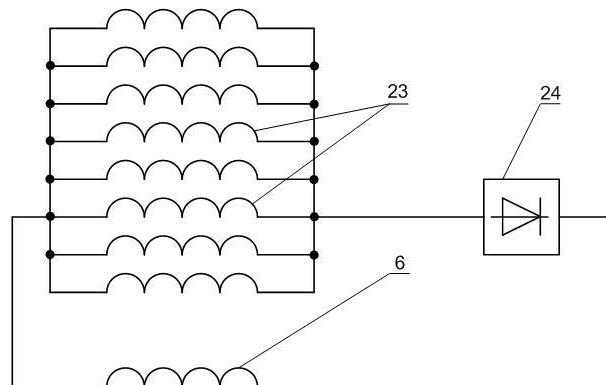


Рис. 5.4. Схема з'єднань обмоток збудження ПЕВТ, пат. 118880

Джерело: авторська розробка

Пристрій працює [30]. Перед установкою в експлуатацію МП 4, 5 намагнічуються ОЗ 6 від стороннього джерела живлення. Надалі МП залишаються в намагніченому стані за рахунок остаточного магнетизму. За рахунок енергії вітру вал 2 ВД 1 і рухомий МП 4 обертаються. Зубці 12, 13 МП 4,5 намагнічуються магнітним полем збудження в одному напрямі одночасно. Із-за зубчастої будови прилеглих поверхонь МП 4,5 магнітний потік, що замикається через них, не буде розподілятися рівномірно. Більша його частина проходить через ділянки, де зубець 12 рухомого МП 4 розташується проти зубця 13 нерухомого МП 5, а найменша – на ділянці, де зубець 12 МП 4 розташується проти паза 15 нерухомого МП 5. При цьому між зубцями 12 і 13 змінюється зазор, а отже і магнітна індукція  $B$  у ньому. В результаті цього крива розподілу магнітної індукції в зазорі між зубцями 12, 13 набуде пилковидного характеру. Змінний магнітний потік між зубцями МП 4,5 індукуює в якірних обмотках 23 ЕРС, в результаті чого сумарний випрямлений струм через регулювальний випрямляч 24 поступає на ОЗ 6 і додатково підмагнічує МП 4, 5 [30].

Для даного моменту часу в зазорі під зубцем 13 індукція має максимальне значення  $B_{\delta \max}$ . При обертанні рухомого МП 4, коли проти його зубця 12 розташується паз 15 нерухомого МП 5, індукція зменшиться до  $B_{\delta \min}$ . Отже, при обертанні рухомого МП 4, зв'язаного з валом 2 ВД 1, індукція в зазорі пульсує, не змінюючи знаку від  $B_{\delta \max}$  до  $B_{\delta \min}$ . Її можна представити в вигляді двох складових: змінної з амплітудою  $B_{\delta} \sim (1)$  і постійної  $B_{\delta} = (2)$ .

Змінна складова магнітного поля індукуює в МП 4,5 ЕРС і вихрові струми частотою  $f$  (3). Вихрові струми за законом Джоуля-Ленца нагрівають МП 4, 5 а нерухомий МП 5 за рахунок конвекції передає теплоту охолоджувальним трубкам 17 з проточною рідиною (водою), яка може використовуватися для обігріву споруд, миття посуду, для поливу рослин, або наповнювати резервуар.

Постійна складова магнітного потоку ніяких ЕРС не індукуює, тому ця частина магнітного потоку не приймає участі в перетворенні енергії вітру в теплоту. Виконання підшипникових щитів 10, 11 із немагнітного матеріалу виключає можливість шунтування магнітного потоку [30]. Для обґрунтування параметрів ПЕВТ досліджені зміни магнітного потоку  $\Phi$  і магнітної індукції  $B$  у зубцях при різних параметрах магнітної системи [15].

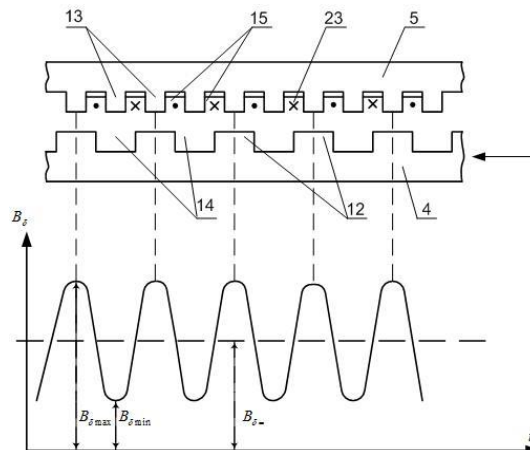


Рис. 5.5. Зміна магнітного потоку в повітряному зазорі, пат 118880

Джерело: авторська розробка

Для фізичного моделювання використаний електромагнітний макет магнітної системи і з'єднані пакети зубцевих зон з різною конфігурацією зубців набраних із електротехнічної сталі (рис. 5.6).

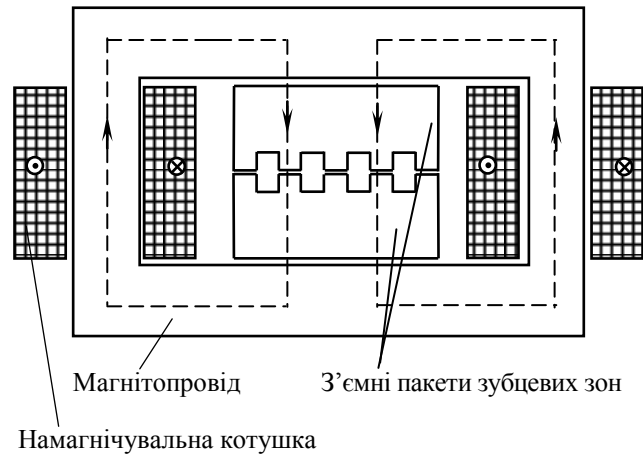


Рис. 5.6. Електромагнітний макет

*Джерело: авторська розробка*

Повітряний зазор між верхнім и нижнім пакетом можна змінювати від 0 до 10,5 мм, що відповідає  $\delta_0$  від 0 до 0,3. Дослідження проведені для зубцевих зон, які мали співвідношення в межах:  $\delta_0 = \delta/\tau = 0,04 \dots 0,3$ .

Потік у визначеній області створювався двома котушками при проходженні по них струму. Індукція в повітряному зазорі на ділянці зубцевого ділення  $2\tau$  визначалася балістичним методом. Під час дослідів положення одного зубця відносно іншого в межах одного зубцевого ділення змінювалося з дискретним кроком. Для кожного положення проводився замір індукції.

У літературі [4; 13] наведені залежності повного магнітного потоку зубцевого ділення в зазорі від переміщення зубців якоря відносно зубців індуктора при різних значеннях величини зазору  $\delta$ , форми і ширини зубця  $b_{z0}$ : а) для прямокутного зубця  $b_{z0} = 0,8$ ; б) для прямокутного зубця  $b_{z0} = 1$ ; в) для трапецеїдального зубця з кутом нахилу  $\gamma = 10^\circ$  і  $b_{z0} = 0,715$ . Оптимальна відносна ширина зубця знаходиться в досить вузьких межах:  $b_{z0} = (0,65 \dots 0,8) \tau$ .

Наведена зміна магнітної індукції  $B$  у зазорі для восьми положень зубців прямокутної форми шириною  $b_{z0} = 0,715$ , висотою  $h_{z0} = 1$ , при величині зазору  $\delta_0 = 0,3$ . Із рисунків [4; 13] видно, що магнітна індукція в зазорі пульсує від максимального значення  $B = 0,5$  Тл, коли зубці МП розташовані один проти одного, до  $B \approx 0,23$  Тл, коли зубець якоря розташований проти паза індуктора.

Проведена математична обробка [13] результатів виміру величини магнітного потоку в зазорі МП ПЕВТ для безпосереднього перетворення енергії вітру в теплоту за рахунок збудження вихрових струмів. Розроблена комп'ютерна програма Lagrange, яка складається з одного файлу, і написана для консольної взаємодії [13].

Пронумеруємо залежності для різних величин зазорів  $\delta_0$  на рис. 5.6 від  $r = 1$  до  $r = 8$ . Розглянемо одну із залежностей з індексом  $r$ . Нехай кількість дослідів для неї становило  $nr + 1$ . Припишемо кожному із цих дослідів індекс від 0 до  $nr$ . Отже, щоб кожному значенню переміщення  $x_{rk}$  ( $k = 0, 1, 2, \dots, nr$ ) відповідав магнітний потік  $f(x_{rk})$ . Побудуємо поліном Лагранжа на  $nr + 1$  вузлових точках  $x_{rk}$  і  $f(x_{rk})$ . Формула для полінома [13] має вид:

$$P_n(x) = \sum_{k=0}^n f(x_k) g_k(x), \quad (5.9)$$

де

$$g_k(x) = \prod_{\substack{j=0 \\ j \neq k}}^{nr} \frac{(x - x_j)}{(x_k - x_j)}. \quad (5.10)$$

Для виконання розрахунків складена програма на мові C++. Код програми містить: вихідний масив даних за результатом експериментів, тобто координати всіх вузлових точок  $x_{rk}$  і  $f(x_{rk})$ ,  $r = 1, 2 \dots 8$ ,  $x_{rk}$  ( $k = 0, 1, 2, \dots, nr$ ); функцію для розрахунку магнітного потоку за формулою (5.4); процедуру для виводу інформації в вигляді таблиці; 4 процедуру для виводу інформації в вигляді графіка. Програма запускається через термінал, як і будь-яка подібна програма, наступним чином: Lagrange, і на екрані з'являється таблиця залежності магнітного поля від переміщення зубців для фіксованого зазору  $\delta$ . Нижче неї буде запропоновано ввести значення зміщення, після чого буде розраховано

величину магнітного потоку при фіксованих зазорах. Далі пропонується ввести значення зазору, після чого програма розрахує для заданого переміщення та зазору величину магнітного потоку. Потім програма пропонує повторити ввід даних або завершити свою роботу.

Тестування програми проводилося на прикладі побудови полінома Лагранжа для функції  $y = \sin(x)$ . Тестові іспити показали, що при інтерполюванні функції поліномом (5.9) забезпечується точність до 6-го знака. У табл. 5.2 наведені результати розрахунків залежностей магнітного потоку для зазору  $\delta_0 = 0,25$ .

Таблиця 5.2

**Залежність величини магнітного потоку від переміщення зубців для  $\delta_0 = 0,25$** 

$x_i$ , мм	0	5,2	7,8	15,0	20,0	25,4	30,0
$y_i$ (експ.)	22,0000	–	–	20,0000	19,0000	–	17,0000
$y_i$ (розрах.)	22,0000	21,5603	21,2233	20,0000	19,0000	17,8913	17,0000

*Джерело: розрахунки авторів*

Із даних табл. 5.2 видно, що розрахункові значення магнітного потоку  $y_i$  (розрах.) у вузлових точках  $x_i = 0, 15, 20$  і  $30$  співпадають з експериментальними даними  $y_i$  (експ.), тому розроблений алгоритм може бути використаний при аналізі конструкції магнітної системи ІПЕВТ для вітрового теплогенератора.

Отримані результати можуть бути використані при побудові імітаційної моделі магнітопроводів та обґрунтуванні їхньої конструкції.

Методика розрахунку параметрів ІПЕВТ:

1. Вибір габаритних розмірів ІПЕВТ: товщини МП  $h_m$ , зовнішніх діаметрів  $D_3$  і зазору  $\delta$  між ними проводиться на основі теплотехнічних розрахунків, з урахуванням необхідної потужності і допустимої температури нагріву МП [15].

2. Вибір параметрів зубців. Оптимальна кількість зубців індуктора:

$$Z = (0,022 \dots 0,034) D_3 / \delta. \quad (5.11)$$

Відношення ширини паза  $b_n$  до кроку зубців  $t_z$  вибирають в межах:

$$b_n / t_z = 0,65 \dots 0,55. \quad (5.12)$$

А, знаючи крок зубців  $t_z$ , знаходять ширину паза:

$$b_n = (0,65 \dots 0,55) t_z. \quad (5.13)$$

Для дискових МП з радіальними зубцями крок зубців в градусах визначається за виразом:

$$t_z^\circ = 360 / Z. \quad (5.14)$$

Тоді ширина паза  $b_n$  в градусах буде:

$$b_n^\circ = (0,65 \dots 0,55) t_z, \quad (5.15)$$

а ширина зубця:

$$b_z^\circ = t_z^\circ - (0,65 \dots 0,55) t_z. \quad (5.16)$$

Глибину паза рекомендується брати із співвідношення:

$$h_n = (30 \dots 40) \delta. \quad (5.17)$$

3. Визначення оптимальних розмірів обмотки збудження. Економічно оптимальним співвідношенням між лінійними розмірами “міді” і “сталі” є  $(0,37 \dots 0,4)$  [15]. Тоді оптимальна ширина кільцевої канавки для обмотки збудження:

$$b_k = (0,37 \dots 0,4) l_z, \quad (5.18)$$

де  $l_z$  – довжина радіального зубця.

Оптимальна глибина кільцевої канавки в МП:

$$A = (0,37 \dots 0,4) h_m, \quad (5.19)$$

для того, щоб магнітна індукція в зовнішніх і внутрішніх зубцях індуктора була однаковою, кільцева канавка повинна ділити зубці за площею навпіл:

$$S_1 = S_2 = S_z / 2. \quad (5.20)$$

**5.2. Теплонасосна технологія**

© **Жарков В. Я.**

*к.т.н., доцент, Таврійський державний агротехнологічний університет, м. Мелітополь, Україна*

© **Жарков А. В.**

*інженер, Таврійський державний агротехнологічний університет, м. Мелітополь, Україна*

© **Галько С. В.**

*к.т.н., доцент, Таврійський державний агротехнологічний університет, м. Мелітополь, Україна*

У багатьох розвинених країнах використання ТН є одним з ефективних напрямів політики енергозбереження. Значне розповсюдження отримали ТН в локальних системах опалення: США – 600 тис., Канада – 136 тис., Швеція – 200 тис., Німеччина – 40 тис., Японія та інші країни. За прогнозом Світового енергетичного комітету до 2020 р. використання ТН для опалення і гарячого водопостачання складе 75 % [42].

Теплонасосна система тепло-холодопостачання, що працює з використанням теплоти ґрунту, є однією з найбільш енергетично ефективних технологій. Досвід провідних країн свідчить, що енергію ґрунту найчастіше використовують у теплонасосних установках потужністю 10 – 20 кВт, які обслуговують окремі невеликі будинки [42]. В умовах України це можуть бути садибні будинки міст та сіл. Перспективним є застосування ТН в локальних системах в комплексі з іншими технологіями використання ВДЕ (сонячні, вітрові, біоенергетичні). Переваги теплонасосних установок порівняно з традиційними системами пов'язані не тільки зі значними скороченнями витрат первинної енергії, але і з їх екологічною чистотою, з можливістю підвищення ступеня автономності систем життєзабезпечення будівель.

В основу корисної моделі за пат. 107616 [19] поставлена задача збільшити коефіцієнт використання енергії вітру за рахунок ТН. На рис. 5.7 подана конструктивна схема присадибної вітропелонасосної установки ВТНУ [1]. Як вежа 6 використана нижня частина опори ЛЕП-154 кВ. В якості горизонтального вала 3 використана піввісь заднього мосту автомобіля ГАЗ-53Б, з жорстко закріпленою на кінці півосі маточиною. Поворотний круг взятий від двохосного автотракторного причепа 2ПТС-6. Т-подібний редуктор з двома співвісними вихідними валами взятий від мобільного кормороздавача РММ-5,0.

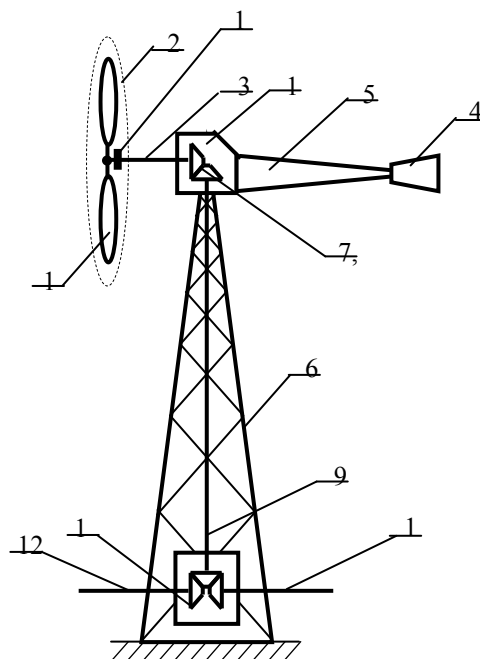


Рис. 5.7. Присадибна вітропелонасосна установка ВТНУ, пат. 107616

*Джерело: авторська розробка*

Перетворювач енергії [19] виконаний у вигляді ТН 15 (рис. 5.8) із послідовно з'єднаних випарника 16, компресора 17, конденсатора 18, дроселя 19, об'єднаних в циркуляційний контур, заповнений холодоагентом, функціонально зв'язаний з зовнішнім циркуляційним контуром 20, з рідким незамерзаючим теплоносієм, і з ТО 21 [19], розташованим в землі, і циркуляційного насоса 22, кінематично зв'язаного з вихідним редуктором 10. Зверху труби 23, 24 закриті спільною кришкою 26 і обладнані патрубками 27, 28 для приєднання до випарника 16.

ТН (рис. 5.8) здійснює трансформацію НПТ на більш високий потенціал, необхідний споживачу і вимагає витрати механічної роботи  $W$  для отримання теплоти  $Q_L$  за низької температури  $T_L$  і віддачі теплоти  $Q_H$  за вищої температури  $T_H$  [19].

Теплообмінник 21 (рис. 5.9) зовнішнього циркуляційного контуру виконаний у вигляді двох труб 23, 24 різного діаметра із антикорозійного матеріалу, коаксіально розташованих в земляній свердловині.

Відношення  $Q_H/W$  називається коефіцієнтом перетворення (КОП) ТН, який визначають за наступним виразом [1]:

$$\text{КОП} = \frac{T_L}{T_H - T_L} + 1 = \frac{T_H}{T_H - T_L}, \quad (5.21)$$

де  $T_L$  – низька температура;  
 $T_H$  – висока температура.



Із наведеного виразу видно, що КОП суттєво залежить від різниці ( $T_H - T_L$ ), чим вона менша, тим КОП більший. КОП ідеального циклу Карно може становити 11,3, але практично КОП становить близько 3.

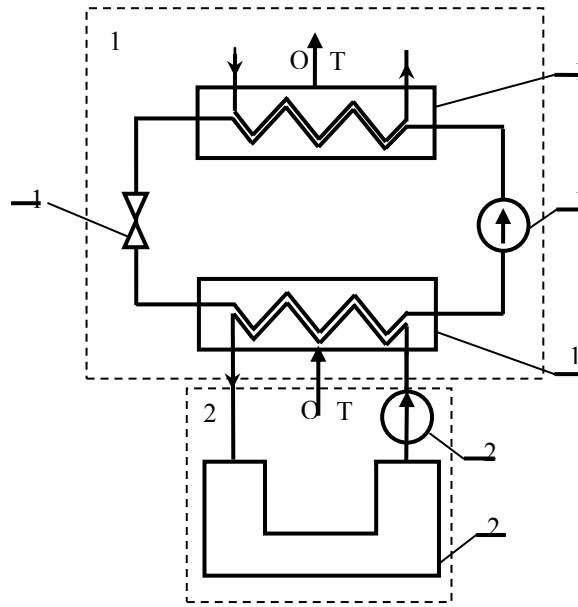


Рис. 5.8. Принципова схема ТН, пат. 107616

Джерело: авторська розробка

ВТНУ працює наступним чином [1; 19]. Від вітрового потоку ВК 2 зі своїми лопатями 13, закріпленими на маточині 14, разом з горизонтальним валом 3 обертається, і передає обертовий момент через кінематично з'єднані конічну пару шестерень 7, 8, вертикальний вал 9 і Т-подібний редуктор 10 з вихідними співвісними валами 11, 12, компресору 17 ТН 15 і циркуляційному насосу 22.

При зміні напрямку вітру хвіст 4 разом з хвостовою фермою 5 повертає голівку 1, закріплену на поворотному колі, чим установлює вітроколесо 2 на вітер. Горизонтальний вал 3 в вигляді півосі заднього моста автомобіля ГАЗ-53Б з маточиною 14 на кінці, вільно обертається в підшипниках заднього моста автомобіля ГАЗ-53Б, закріпленому на поворотному колі. Компресор 17 відкачує пару холодоагента із випарника 16, знижуючи тиск у ньому до точки кипіння холодоагента. При цьому холодоагент закипає, інтенсивно випаровується і відбирає теплоту  $Q_L$  від стінок випарника 16. Газоподібний холодоагент [43] під тиском поступає в конденсатор 17, що призводить до його конденсації, з віддачею теплоти конденсації  $Q_H$ , яка відводиться в опалювальний простір. Дросель 19 забезпечує величину тиску в конденсаторі 17, необхідну для конденсації холодоагенту. З конденсатора 17 рідкий холодоагент проходить через дросель 19 і повертається у випарник 16, де його температура після випаровування знижується. Із випарника 16 компресор 17 знову відкачує холодоагент, який закипає і при випаровуванні змінює свій агрегатний стан з рідини на газ (пару). В якості холодоагенту використовують екологічно безпечний фреон-R134 [43].

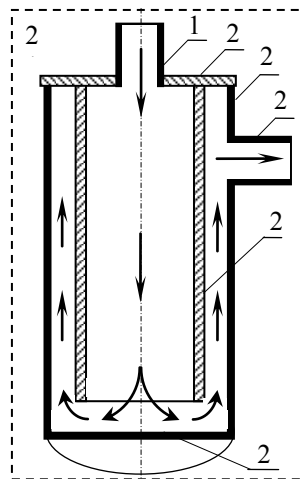


Рис. 5.9. Теплообмінник, пат. 107616

Джерело: авторська розробка

Температура землі на глибині близько 100 метрів є постійною протягом року, не залежить від пори року, і становить у середньому  $+8^{\circ}\text{C}$ . Для перетворення цього температурного потенціалу з метою опалювання та гарячого водопостачання і використовується ТН. В якості теплоносія у зовнішньому циркуляційному контурі використана рідина з низькою температурою замерзання, наприклад гліколі – двоатомні спирти, що містять дві гідроксильні групи із загальною формулою  $\text{C}_n\text{H}_{2n}(\text{OH})_2$ , температура замерзання яких змінюється від  $-4,3^{\circ}\text{C}$  для триетиленгліколю,  $-10,4^{\circ}\text{C}$  для діетиленгліколю,  $-13^{\circ}\text{C}$  для етиленгліколю ( $\text{HO}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{OH}$ ) до  $-77^{\circ}\text{C}$  для бутиленгліколю [1].

Робочий режим ТН підбирають індивідуально в залежності від температури  $T_L$  джерела НПТ і потреб в температурі  $T_H$  споживача високопотенційного тепла. Занадто високі температури конденсації вибирати не слід, так як, по мірі приближення температури до критичної, схована теплота пароутворення швидко зменшується, теплоту віддає тільки перегрітий пар, але при суттєвому зменшенні КОП [19].

Запатентований пат. 108003, компресійний ТН для охолодження напоїв являє собою металевий корпус коробчастого типу з роз'ємними стінками і знімною кришкою (на схемі не показані) [21]. У середині розташований компресійний ТН (рис. 5.10), складовими частинами якого є: компресор 1, вентилятор 2, повітряний конденсатор 3, фільтр-осушувач 4, випарник 6, теплообмінник 7 для безпосереднього охолодження напою, насос-мішалка 8 для заповнення водою ванни 5, терморегулятор 9 з термодатчиком, дросель, мідні трубки для з'єднання елементів ТН між собою пайкою в замкнену герметичну систему, заповнену холоди́льним агентом фреон-R 134 [43], продуктопровід для подачі напою через теплообмінник 7 до споживача.

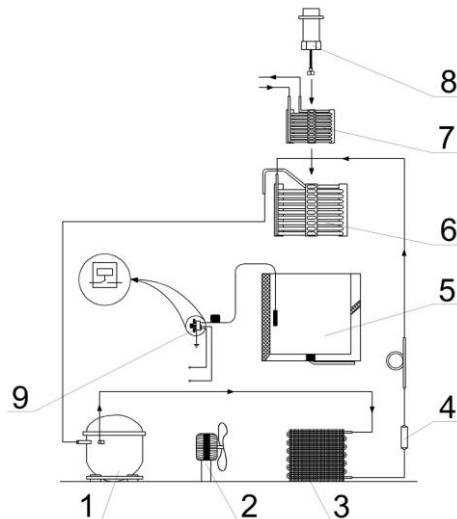


Рис. 5.10. Схема компресійного ТН для охолодження напоїв, пат. 108003

*Джерело: авторська розробка*

Компресійний ТН для охолодження напоїв працює за теплонасосною технологією наступним чином [21]. Після увімкнення компресор 1 відкачує пари холодоагенту із випарника 6 і нагнітає в конденсатор 3. В конденсаторі 3 пари холодоагенту охолоджуються і конденсуються. Далі рідкий холодоагент через фільтр-осушувач 4 і дросель у вигляді капілярної трубки попадає до випарника 6, розміщеного всередині ванни 5, виконаної з ударостійкого пластику, і теплоізований зовні пінополіуретаном. На вході до випарника 6 тиск падає від величини тиску конденсації до тиску кипіння (іде дроселювання). При цьому відбувається закипання холодоагенту, поступаючи в канали випарника 6 холодоагент кипить, енергія необхідна для кипіння у вигляді теплоти, забирається від поверхні випарника, охолоджуючи воду у ванні 5, і вода на трубках випарника 6 перетворюється в лід. Пройшовши через випарник 6 рідкий холодоагент перетворюється в пару, яка відкачується компресором 1, віддає свою теплоту повітряному конденсатору 3 і докільню вентилятора 2 при її конденсації після стискання компресором 1, далі процес повторюється. Робота вентилятора 2 сприяє інтенсивному охолодженню конденсатора 3. Товщина крижаного поля контролюється термодатчиком (капіляром) в середині ванни 5, і регулюється поворотом ручки терморегулятора 9 [5].

Корисна модель може застосовуватися для охолодження коктейлів, соків, пива, при їх продажу. Як варіант, для підігріву води для миття використаного посуду, у бак-акумулятор з водою можна установити рідинний конденсатор з теплообмінником. Якщо ж забезпечити живлення ТН від ВДЕ, то отримаємо когенераційний ТН з генерацією як холоду, так і теплоти.

### 5.3. Когенераційна технологія перетворення енергії вітру

© Жарков В. Я.

*к.т.н., доцент, Таврійський державний агротехнологічний університет, м. Мелітополь, Україна*

© Жарков А. В.

*інженер, Таврійський державний агротехнологічний університет, м. Мелітополь, Україна*

© Галько С. В.

*к.т.н., доцент, Таврійський державний агротехнологічний університет, м. Мелітополь, Україна*

У даний час у всьому світі велика увага приділяється процесам когенерації, що забезпечує комбіноване (сумісне) виробництво електричної і теплової енергії від одного джерела [4].

Перед власниками невеликих ВТУ постає проблема: що робити з вітровою електроенергією, коли в теплоті немає потреби, а вітер дме. Разом з тим, близько 40 % енергії селянинові потрібні у вигляді НПТ. Для реалізації когенераційної технології в ТДАТУ запатентована, пат. 64568, присадибна когенераційна ВЕУ на базі ШЕВТ з самозбудженням [15]. Її достоїнством є автономність і можливість одночасно генерувати НПТ і електричну енергію, наприклад, для обігріву і освітлення приватного парниково-тепличного господарства, залежно від потреби в них [2; 6].

Когенераційний вітропарк [28] містить декілька ВТУ з ШЕВТ 1 (рис. 5.11) і, принаймні, один автономний вітроелектрогенератор (ВЕГ) з випрямлячем змінного струму [10]. Кожна ВТУ 1 містить ВД 4 та ШЕВТ 5, який складається з нерухомих сталених МП 6,7 з зубчастою будовою прилеглих дзеркально розташованих торцевих поверхонь і індукційними обмотками збудження 8 в кільцевих канавках 9 кожного МП. На вихідному валу 10 ШЕВТ 5 жорстко закріплений металевий дисковий ротор 11 з можливістю вільного обертання між нерухомими, співвісно розташованими МП 6, 7 в циліндричному резервуарі 12 з теплоакумулюючою рідиною (рис. 5.11).

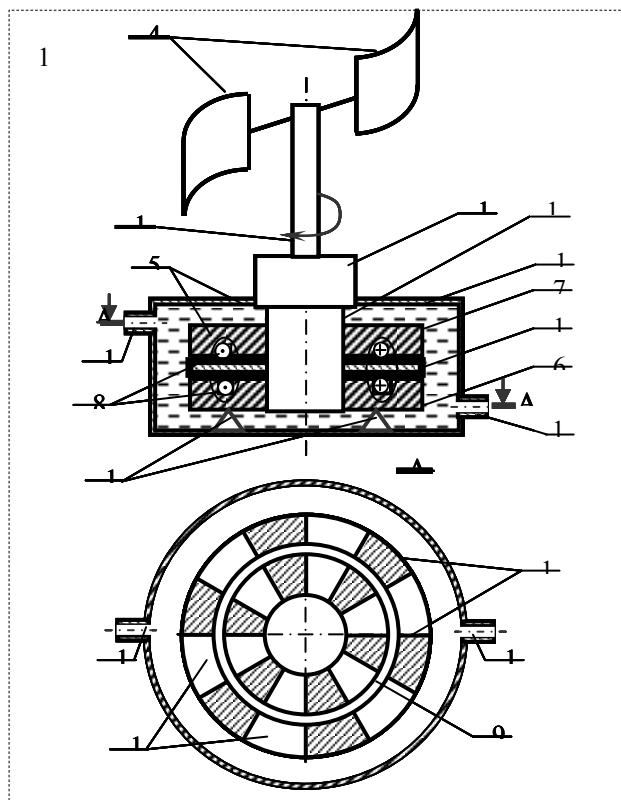


Рис. 5.11. Будова ШЕВТ когенераційного вітропарку, пат. 116602

*Джерело: авторська розробка*

Металевий дисковий ротор 11 виконаний із маловуглецевої сталі з високою магнітною проникливістю, покритий з обох боків шаром металу з високою електропровідністю. МП 6, 7 і дисковий ротор 11 установлені співвісно і поміщені в циліндричний резервуар 12 з вхідним 15 та вихідним 16 патрубками. Резервуар 12 виготовлений із немагнітного матеріалу, наприклад, із термопластика, і заповнений рідиною. Зубчасті поверхні прилеглих торців МП 6, 7 розташовані дзеркально (тобто зуб проти зуба, а паз проти паза), а їхні ОЗ збуджені постійним струмом в одному напрямку. МП 6, 7 закріплені в циліндричному резервуарі 12 на опорах 19.

Малопотужний вітроелектрогенератор, пат. 116122 [23], зі здвоєним дводисковим ротором спрощеної конструкції містить (рис. 5.12) співвісно розташовані дводисковий ротор 5, 6 з сталевим магнітопроводом, з'єднаний з вихідним валом 12 ВД, і дисковий статор 8 з якірними котушками 9 без осердя, перший диск ротора виконаний багатополосним з рівномірно закріпленими по колу на периферії диска постійними магнітами 7 з чергуванням полюсів, а статор з якірними котушками розташований з повітряним зазором між дисками ротора, згідно корисної моделі, другий диск ротора (нижній) 6 виконаний у вигляді сталевий пластини. Статор 8 виготовлений у вигляді пластмасового диска, наприклад, бакелітового, з розташованими по внутрішньому периметру плоскими якірними котушками 9 трапецеїдальної форми, залитих компаундом, котушки з'єднані згідно послідовно; використані неодимові магніти [14].

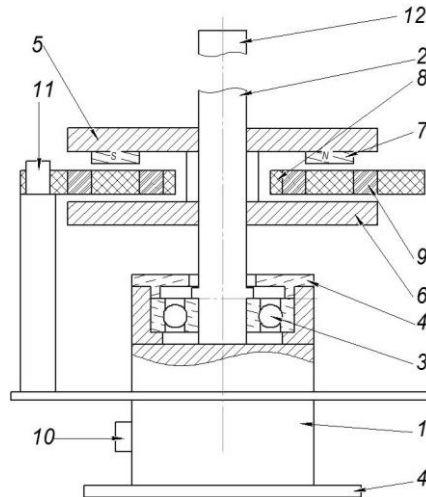


Рис. 5.12. Малопотужний ВЕГ зі здвоєним ротором спрощеної конструкції, пат. 116122

*Джерело: авторська розробка*

Виконання ротора багатополосним забезпечує збільшення частоти генерованої ЕРС, тобто обійтися без мультиплікатора. Рівномірне закріплення по колу на периферії першого роторного диска постійних магнітів забезпечує надійне збудження магнітного поля і стабільність частоти генерованої ЕРС в якірних обмотках. Виконання другого диска ротора у вигляді сталевий пластини забезпечує спрощення конструкції, зменшення кількості магнітів, габаритів і вартості конструкції. Виконання статорного диска пластмасовим, усуває втрати на нагрів диска, зменшує момент зрушення, що розширює діапазон робочої швидкості вітру. Розташування якірних обмоток на нерухомому статорі дозволяє уникнути рухомих контактів, а отже, підвищити ККД і надійність генератора. Виконання якірних котушок без осердя і сталевий магнітопроводу забезпечує зменшення моменту зрушення генератора, а отже – його запуск при незначній швидкості вітру. Виготовлення якірних котушок плоскими трапецеїдальної форми покращує компактність статора, збільшує коефіцієнт використання об'єму статора, а отже сприяє зменшенню габариту і маси генератора. З'єднання якірних котушок згідно послідовно забезпечує збільшення ЕРС в обмотках генератора. Використання потужних неодимових магнітів сприяє зменшенню габариту і маси генератора.

Пристрій працює наступним чином [17]. Вихідний вал 11 ВД, що приводиться у рух вітром, передає обертовий момент через кінематичний зв'язок валу 2, який, у свою чергу, обертає закріплені на ньому сталевий роторні диски 5 з закріпленими на них постійними неодимовими магнітами 6 [14]. Так як магніти 6 розташовані дзеркально з різнойменними полюсами один до одного, то створюють потужний магнітний потік, який замикається через сталевий статорні диски 5 і плоскі якірні котушки 8. При обертанні роторних дисків магнітний потік постійних магнітів по черзі пронизує якірні обмотки 8 і індукує в них ЕРС. Для збільшення вихідної ЕРС якірні котушки 8 з'єднані згідно послідовно в обмотки, кінці яких виведені на клемну коробку.

Напряга з статорної обмотки ВЕГ надходить на діодний міст 31 випрямляча змінного струму 3, пульсація струму згладжується конденсатором 32. Температура навколишнього середовища через датчик 35 контролюється блоком регулювання 34. Коли температура середовища нижче від уставленого значення блок регулювання 34 відкриває електронний ключ 33 і регулює ним струм в ОЗ 8 ІПЕВТ 5, в залежності від відхилення температури середовища від уставленого значення (рис. 5.13). Сталевий диски

6,7 ШЕВТ 5 намагнічуються магнітним полем збудження в одному напрямі одночасно. Із-за зубчастої будови торців сталевих дисків 6, 7 магнітна індукція в зазорі буде неоднорідною і матиме пилкоподібний вигляд: від мінімального значення  $B_{\text{min}}$  між пазами 17 до максимального значення  $B_{\text{max}}$  між зубцями 18.

Цей генератор може бути однофазним (всі обмотки з'єднані послідовно) або трифазним (три групи обмоток). Останній варіант кращий, оскільки в такому разі буде більш висока частота струму при однаковій частоті обертання ротора. З'єднані попередньо згідно обраної схеми обмотки (переважно в "зірку") укладають у спеціально заготовлену форму і заливають для скріплення компаундом.

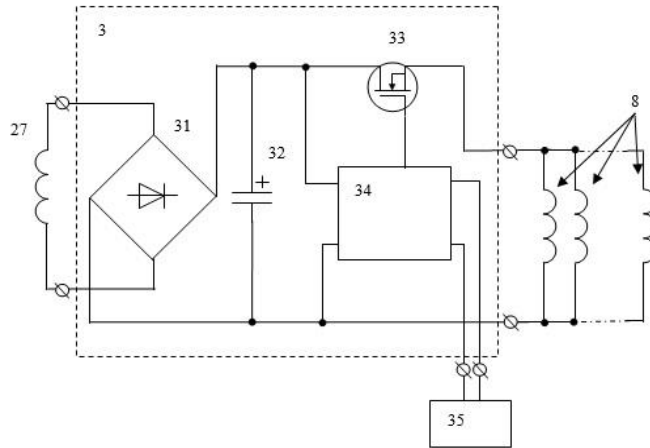


Рис. 5.13. Керований випрямляч для живлення ОЗ ШЕВТ, пат 116602

Джерело: авторська розробка

Використання багатополосного синхронного ВЕГ [17] із збудженням від постійних неодимових магнітів [14] дозволяє обійтися без додаткового мультиплікатора і без електромашинного збуджувача, що підвищує надійність і загальний ККД ВЕГ. Задача проектувальника полягає у визначенні величини проміжку та параметрів якірної котушки при наявній кількості магнітів.

Відомо, що в невеликих ВЕУ найбільш розповсюджені багатополосні генератори з постійними магнітами [35, с. 312 – 314]. Перевагою машин з постійними магнітами є простота конструкції, відсутність контакту ковзання, високий ККД і менше нагрівання із-за відсутності втрат в обмотці збудження і в контактні ковзання [34].

Розроблено і запатентовано декілька конструкцій ВЕГ з аксіальним магнітним полем на неодимових магнітах [104467, 116122, 116482, 116497, 116510, 116576]. На рис. 5.14, 5.15, 5.16 зображені деякі з них.

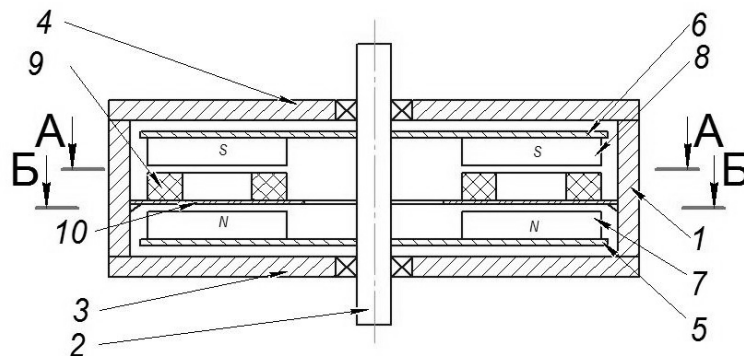


Рис. 5.14. Малопотужний ВЕГ з дводисковим ротором, пат. 116482

Джерело: авторська розробка

Недоліком масових ВЕУ з одним генератором, розрахованому на свій діапазон робочого вітру, є недовикористання енергії вітру, при іншій швидкості вітру. Це призведе до відхилення його швидкості  $Z$  від оптимальної величини  $Z_{\text{opt}}$  і до зменшення коефіцієнта використання енергії вітру  $C_p$  [35, рис. 9.12].

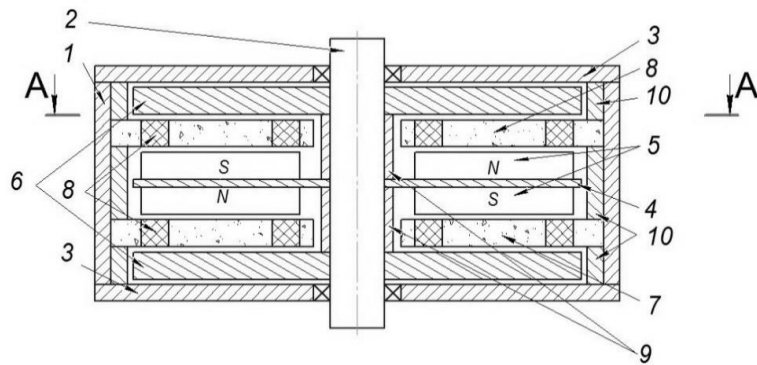


Рис. 5.15. Двостаторний ВЕГ з дисковим з'єднаним ротором, пат. 116510

Джерело: авторська розробка

В основу корисної моделі за пат. 116497 [25] поставлена задача створення ВЕУ (рис. 5.16) з розширеним діапазоном використання енергії вітру за рахунок зміни кількості полюсів статорної обмотки, залежно від швидкості вітру: збільшення кількості полюсів статорної обмотки вдвоє при кожному подвоєнні швидкості вітру, і навпаки, зменшення кількості полюсів вдвоє при відповідному зменшенні швидкості вітру шляхом перекомутації статорної обмотки ВЕГ.

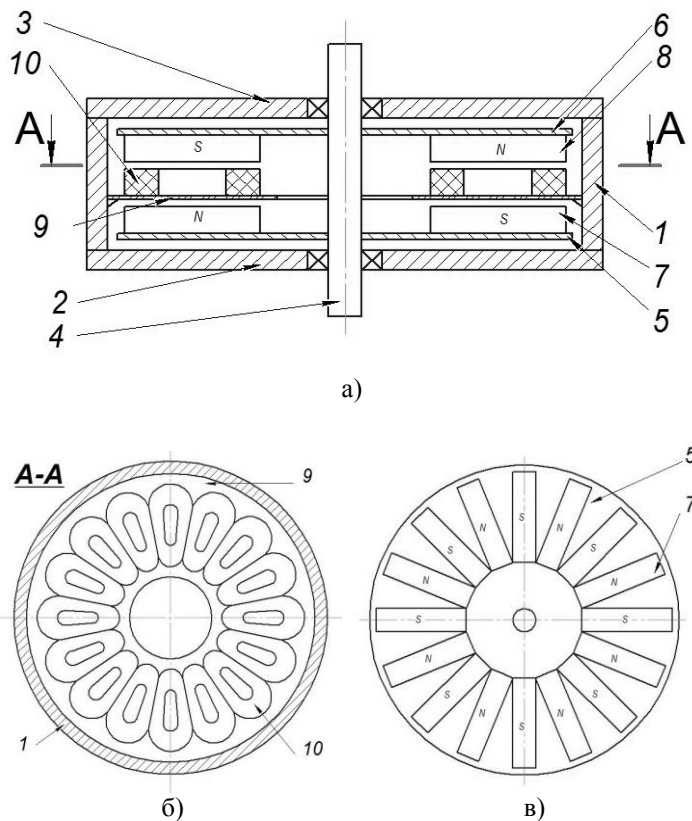


Рис. 5.16. ВЕГ зі здовбеним ротором, пат. 116497:

а) будова ВЕГ, б) статор, в) багатополісний ротор з неодимовими магнітами

Джерело: авторська розробка

Корисна модель [25] складається з циліндричного корпусу 1, закритого підшипниковими щитами 2, 3, вала 4, дводискового багатополісного ротора 5, 6 з неодимовими магнітами 7, 8, бакелітового статорного диска 9 з якірними котушками 10, груп комутаційних контактів 11, 12, 13 (рис. 5.17).

ВЕУ працює наступним чином [25]. При появі вітру вал 4, з'єднаний з вихідним валом ВД, установлений в підшипникових щитах 2, 3 циліндричного корпусу 1, починає обертатися разом з дводисковим багатополісним ротором 5, 6. Обертове магнітне поле неодимових магнітів 7, 8, закріплених відповідно на нижньому 5 і верхньому 6 сталевих дисках, по черзі пересікають якірні котушки 10, установлені на бакелітовому статорному диску 9, закріпленому в корпусі 1, генеруючи в них ЕРС. Узгоджене послідовне з'єднання шістнадцяти якірних котушок забезпечує збільшення ЕРС в статорній обмотці 10. Частота цієї ЕРС залежить від кількості пар полюсів і частоти обертання ротора.

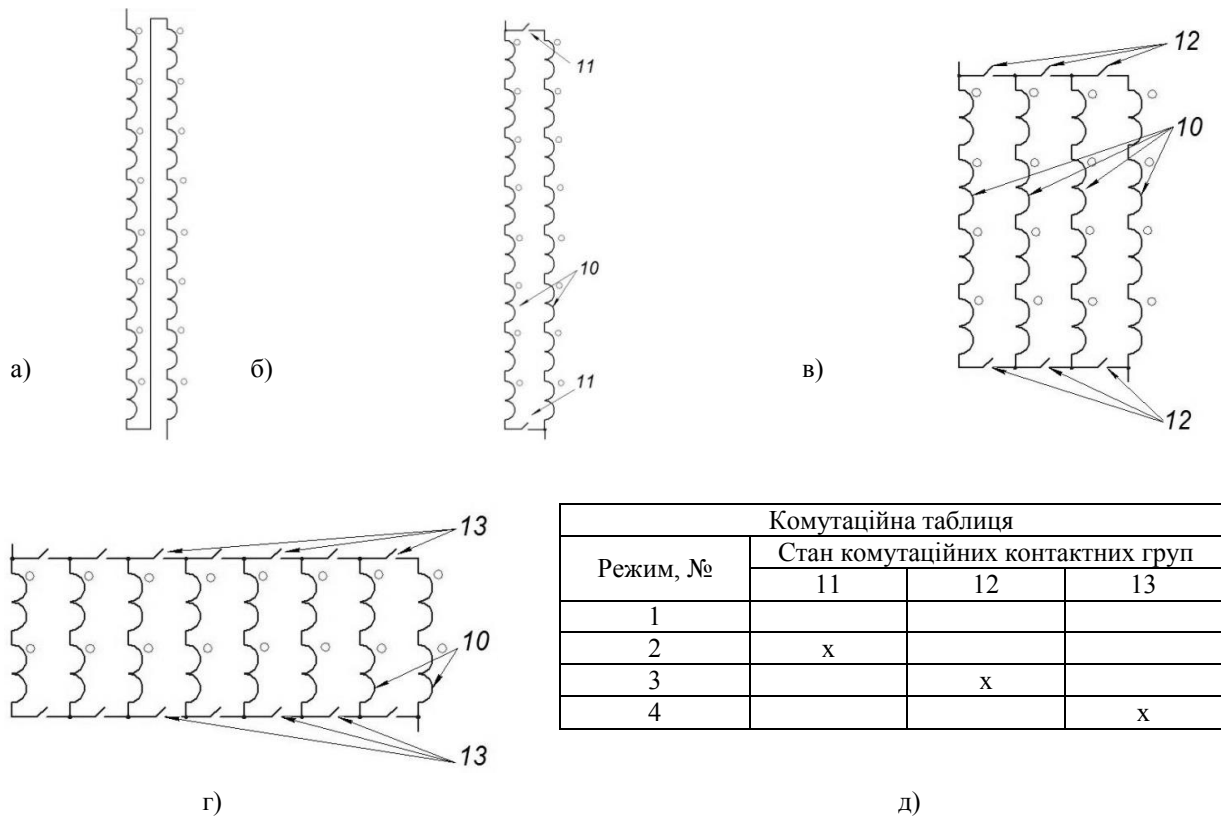


Рис. 5.17. Схема перекомутації котушок статорної обмотки, пат. 116497

Джерело: авторська розробка

Для отримання стандартної частоти 50 Гц для восьми пар полюсів (рис. 5.17, а) необхідно мати частоту обертання ротора:

$$N = 60 f/P = 60 \cdot 50 / 8 = 375 \text{ хв}^{-1}.$$

Чим більша кількість пар магнітних полюсів, тим менша потрібна частота обертання ротора. При незначній швидкості вітру вал 4, а з ним і дводисковий ротор 5, 6 починає обертатися, магнітне поле кожної пари магнітів 7, 8 по черзі пересікають витки 16-полюсної статорної обмотки 10, індукуючи ЕРС в кожній з шістнадцяти якірних котушок (режим 1 на рис. 5.17, д).

Бакелітовий статорний диск 9, на якому закріплені епоксидною смолою якірні котушки 10, забезпечує міцність конструкції. При збільшенні швидкості вітру вдвоє надходить сигнал від датчика швидкості 28 на електромагнітне реле комутаційного апарата (не показано), замикається група контактів 11, утворюючи дві паралельні гілки по вісім якірних котушок (режим 2). Частота обертання зростає до  $750 \text{ хв}^{-1}$ . При подальшому збільшенні швидкості вітру замкнеться група комутаційних контактів 12, потім – 13, і частота обертання ротора досягне максимальної величини  $3000 \text{ хв}^{-1}$ . При зменшенні швидкості вітру, навпаки – кількість якірних котушок в кожній гільці збільшується: 2 : 4 : 8 : 16 (рис. 5.18), а частота обертання ротора, відповідно, зменшується (режими 4; 3; 2; 1) до мінімальної величини.

Отже, корисна модель забезпечує розширення діапазону робочої швидкості вітру, збільшення коефіцієнта використання енергії вітру  $C_p$ , [35, с. 276 – 277] спрощення і здешевлення конструкції:

1. ВЕУ зі зміною частоти обертання перекомутацією статорної обмотки, що містить співвісно розташовані дводисковий багатополіусний ротор з постійними магнітами, дзеркально розташованими один до одного різномісними полюсами, і дисковий статор з декількома якірними котушками без осердя, з'єднаними в статорну обмотку, закріплені на периферії статорного диска, розташованого з зазором між дисками ротора, яка відрізняється тим, що статорна обмотка містить парну кількість якірних котушок і контакти для зміни кількості паралельних гілок з окремих груп послідовно з'єднаних якірних котушок при суттєвій зміні швидкості вітру.

2. ВЕУ зі зміною частоти обертання перекомутацією статорної обмотки за п. 1, яка відрізняється тим, що статорна обмотка містить  $n$  якірних котушок, кратне 4, і декілька груп комутаційних контактів для подвоєння кількості паралельних гілок з послідовно з'єднаних якірних котушок шляхом з'єднання їх в групи при кожному подвоєнні швидкості вітру, і навпаки.

3. ВЕУ зі зміною частоти обертання перекомутацією статорної обмотки за будь-яким з пп. 1, 2, яка відрізняється тим, що статорна обмотка містить 16 котушок і декілька груп комутаційних контактів для зміни кількості полюсів статорної обмотки у співвідношенні 16 : 8 : 4 : 2 шляхом подвоєння кількості паралельних гілок з послідовно попарно з'єднаних якірних котушок при кожному подвоєнні швидкості вітру у співвідношенні 1 : 2 : 4 : 8, і навпаки.

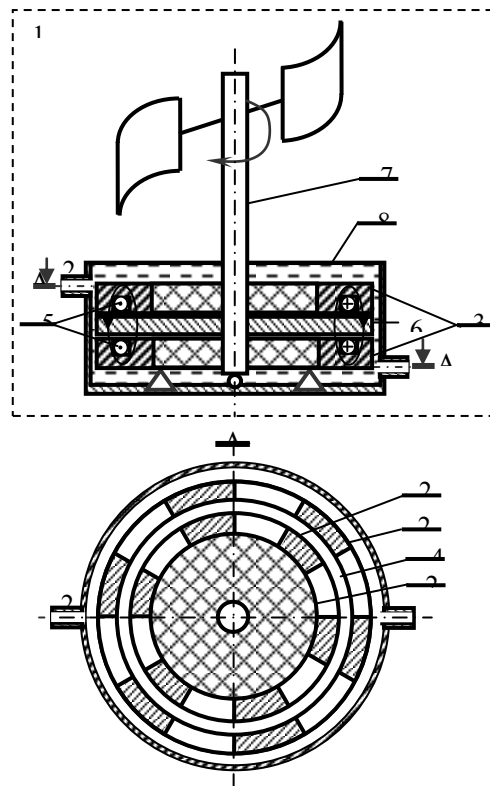


Рис. 5.18. Будова ППЕВТ підвищеної продуктивності, пат. 123117

*Джерело: авторська розробка*

Когенераційний вітропарк підвищеної продуктивності.

Недоліком описаного в п. 3.1 когенераційного вітропарку [28], взятого за прототип, є низька продуктивність ППЕВТ із-за малої ЕРС в металевому роторі, обумовлена його малою окружною швидкістю за малого діаметра, і малий діапазон робочої швидкості, обумовлений незмінною кількістю полюсів статорної обмотки, відхиленням швидкохідності  $Z$  від оптимальної величини  $Z_{\text{опт}}$  і, відповідно, до зменшення коефіцієнта використання енергії вітру  $C_p$  [35, с. 276 – 277].

В основу пат. 123117 поставлена технічна задача створення когенераційного вітропарку підвищеної ефективності [31], шляхом збільшення індукованої ЕРС в металевому диску за рахунок збільшення діаметрів активної зубчастої зони нерухомих дискових МП кільцевої форми і металевого дискового ротора, а також розширення діапазону ефективного використання вітрової енергії і коефіцієнта  $C_p$  [35, с. 276 – 277] за рахунок зміни кількості полюсів статорної обмотки 10 перекомутацією, залежно від швидкості вітру.

Кожен ППЕВТ 1 [31] містить нерухомий індуктор у вигляді дискових МП 3 кільцевої форми, із феромагнітного матеріалу з зубчастою будовою прилеглих поверхонь, з кільцевими канавками 4 і ОЗ 5 в них, і рухомий диск 6, розташований з подвійним зазором між ними, жорстко зв'язаний з валом 7 свого ВД, співвісно розташовані в резервуарі 8 з рідинним теплоносієм, наприклад з водою, а їхні кільцеві ОЗ 5 збуджені постійним струмом в одному напрямі. Сталевий диск 6 кожного ППЕВТ жорстко зв'язаний з валом 7 ВД, вкритий з обох боків шаром металу з підвищеною електропровідністю (міддю чи алюмінієм), обладнаний радіальними лопатями 21, розташованими симетрично на його ободі під кутом з робочим зусиллям в напрямку до вихідного патрубку 22. Дискові МП 3 нерухомого індуктора мають кільцеву форму з зубчастою структурою торцевих поверхонь і розташовані на периферії центральних дисків 23 збільшеного діаметра, виконаних із міцного немагнітного матеріалу, наприклад, із текстоліту, причому кільцеві канавки 4 ділять радіальні зубці дискових МП 3 кільцевої форми на внутрішні 24 і зовнішні 25, рівновеликі за площею прилеглих поверхонь.



Синхронний ВЕГ (рис. 5.17) з аксіальним магнітним потоком, містить статор 9 з якірними котушками 10 трапецеїдальної форми без осердя і дводисковий багатополосний ротор з рівномірно закріпленими по периферії сталених дисків 5, 8 неодимових магнітів 7, 8 переміжної (S-N) полярності. Роторні диски жорстко закріплені на валу, зв'язаному з вихідним валом свого ВД. До виходу статорної обмотки 10 через випрямляч змінного струму 19 і електронний ключ 20 (рис. 5.19) блока регулювання приєднані обмотки збудження 5 кожного ППЕВТ 1, датчики температури 27 і швидкості вітру 28.

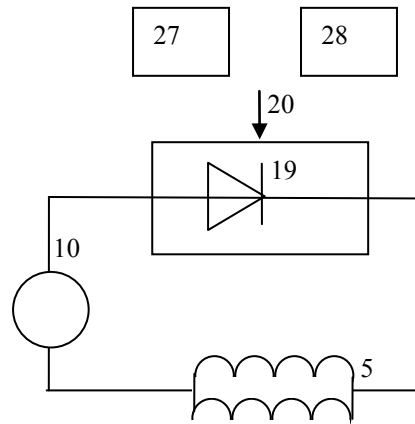


Рис. 5.19. Схема приєднання кільцевих обмоток збудження кожного ППЕВТ до статорної обмотки спільного ВЕГ, пат 123117

Джерело: авторська розробка

В запропонованому варіанті статорна обмотка 10 складається з 16-ти котушок, розташованих по внутрішньому периметру статорного диска 9, і групи комутаційних контактів 26 для зміни кількості полюсів статорної обмотки шляхом зміни схеми з'єднання котушок 10 при суттєвій зміні швидкості вітру, наприклад, з 16 полюсів на 8 (рис. 5.17).

Пристрій працює. Від вітрового потоку ВД 7 приводять в дію свої ППЕВТ 1 та ВЕГ, до статорної обмотки 10 якого через випрямляч 19 приєднані обмотки збудження 5 декількох ППЕВТ 1. При обертанні диска 6 збільшеного діаметра  $D$  в неоднорідному магнітному полі МП 3 кільцевої форми відбувається його інтенсивний нагрів вихровими струмами збільшеної частоти, оскільки окружна швидкість збільшена до величини:

$$V = 3,14Dn, \quad (5.22)$$

де  $n$  – частота обертання вала,  $\text{хв}^{-1}$ .

Одночасно, при появі вітру починає працювати ВЕГ (рис. 5.18). Вал, з'єднаний з вихідним валом свого ВД, починає обертатися разом з дводисковим багатополосним ротором. Обертове магнітне поле неодимових магнітів 7, 8, закріплених на сталених дисках 5, 8, по черзі пересікають якірні котушки 10, установлені на бакелітовому статорному диску 9, закріпленому в циліндричному корпусі 1, генеруючи в них ЕРС. Узгоджене послідовне з'єднання шістнадцяти якірних котушок забезпечує збільшення ЕРС в статорній обмотці 10. Частота ЕРС  $f$  залежить від кількості пар полюсів  $P$  і частоти обертання ротора  $n = P n/60$ .

Для отримання стандартної частоти 50 Гц при кількості пар полюсів  $P = 8$  необхідно мати частоту обертання ротора  $n = 60f/P = 3000/8 = 375 \text{ хв}^{-1}$ .

При температурі середовища нижче від уставленого значення (холодно) блок регулювання електронним ключем 20 регулює струм в обмотки збудження 5 ППЕВТ, в залежності від відхилення температури середовища від уставленого значення.

Сталеві МП 3 кільцевої форми намагнічуються магнітним полем збудження в одному напрямі одночасно. Из-за зубчастої будови торців магнітна індукція в зазорі  $B_{\delta}$  буде неоднорідною і матиме пилкоподібний вигляд: від мінімального значення  $B_{\delta\text{min}}$  між пазами до максимального значення  $B_{\delta\text{max}}$  між протилежними зубцями 24, 25.

Отже, при обертанні в неоднорідному магнітному полі індукція  $B$  сталевому диску 6 пульсує зі збільшеною частотою, не змінюючи знак від  $B_{\delta\text{max}}$  до  $B_{\delta\text{min}}$ . Її можна представити у вигляді двох складових: змінної, з амплітудою  $B_{\delta} \sim (1)$  і постійної, рівною  $B_{\delta} = (2)$ .

Вихрові струми за законом Джоуля – Ленца нагрівають диск 6, переважно його поверхню, а від нього нагрівається рідинний теплоносій в резервуарі 8, який може використовуватися для обігріву споруд, парників та теплиць.

Бакелітовий статорний диск 9, на якому закріплені епоксидною смолою якірні котушки 10, забезпечує міцність конструкції. При збільшенні швидкості вітру вдвоє надходить сигнал від датчика швидкості вітру 28 на електромагнітне реле комутаційного апарата (не показано), замикається група комутаційних контактів, утворюючи дві паралельні гілки по вісім якірних котушок (рис. 5.17, б). Частота обертання зростає до  $750 \text{ хв}^{-1}$ . При подальшому подвоєнні швидкості вітру група комутаційних контактів утворить 4 паралельних гілки, а потім – 8 (два полюса), і частота обертання ротора досягне максимальної величини  $3000 \text{ хв}^{-1}$ . При зменшенні швидкості вітру, навпаки – кількість якірних котушок в кожній гільці збільшується: 2 : 4 : 8 : 16, а частота обертання ротора відповідно зменшується до мінімальної величини.

Отже, корисна модель забезпечує підвищення ефективності ПЕВТ, розширення діапазону робочої швидкості вітру, збільшення коефіцієнта використання енергії вітру, спрощення і здешевлення конструкції.

Для автоматичного регулювання температури в теплиці в жарку погоду запатентовано, пат. 117783, привід фрамуги з ефектом пам'яті форми [29], а для опромінення розсади – регульовану світлодіодну систему [22].

Ефективність роботи вітроенергоустановки (ВЕУ) суттєво залежить від правильності вибору системи керування генератором. При мінімальному керуванні генератором напруга на його виході (і частота, в разі генератора змінного струму) буде нестабільною. Електроенергію з такими параметрами можна безпосередньо застосовувати в нагрівачах [3]. В багатьох випадках такі ВЕУ задовольняють споживачів [35, с. 311]. Відносно малі потреби в електроенергії зі стабільними параметрами (наприклад 220 В/50 Гц) можна в такому випадку задовольняти спеціальними перетворювачами від акумуляторних батарей (рис. 5.20).

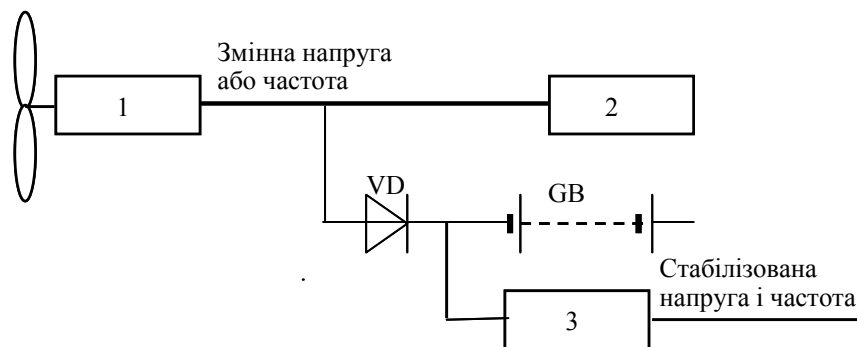


Рис. 5.20. Схема узгодження присадибної ВЕУ з електроспоживачами:

1 – вітроелектрогенератор, 2 – електронагрівачі, 3 – інвертор,  
VD – випрямляч, GB – акумуляторна батарея

Джерело: [3, рис. 2]

#### 5.4. Технології використання сонячної енергії для ПДГ

© **Жарков В. Я.**

*к.т.н., доцент, Таврійський державний агротехнологічний університет, м. Мелітополь, Україна*

© **Жарков А. В.**

*інженер, Таврійський державний агротехнологічний університет, м. Мелітополь, Україна*

© **Галько С. В.**

*к.т.н., доцент, Таврійський державний агротехнологічний університет, м. Мелітополь, Україна*

Сонячна енергетика розвивається у напрямках генерування електрики і тепла. Для селянської садиби найбільш прийнятними на сьогоднішній день є перетворення сонячного випромінювання в електрику за допомогою фотоелектричних перетворювачів (ФЕП) і в теплоту за допомогою сонячних колекторів (СК) [9].

Вакуумний СК «Атек з 2013 р. працює на даху власника будинку в с. Семенівка Мелітопольського району [15]: Вакуумних трубок – 15 шт., довжиною по 180 см, об'єм бака – 150 л. Контролер: напруга живлення 220 В, потужність – до 5 Вт. Інформація від господаря: Продуктивність 500 ... 600 л за добу температурою 70 ... 98°C. Заправка – у квітні, злив восени (перед заморозками); Вартість – 5600 грн. разом з монтажем (2013 р.).

Розроблена і виготовлена конструкція компактного плоского СК для власної квартири (дачі) [15]. Корпус компактного СК зібраний із двох здвоєних віконних рам з подвійним склінням. В якості абсорбера взято плоску батарею водяного опалення. Холодна вода підведена до батареї знизу, а з

верхньої частини гнучким пластмасовим шлангом гаряча вода подається в бак-накопичувач, розташований над СК. Гаряча вода з бака-накопичувача відбирається знизу і самопливом поступає до споживача. Компактний СК може бути розташований на балконі або на зовнішньому боці стіни, що виходять на південь. У більш складному варіанті у контур СК включається насос для циркуляції теплоносія. Тоді бак може розташовуватися як поряд з колектором, так і всередині будівлі.

Є оптимістичні прогнози, що фотоенергетика після 2017 р. за темпами абсолютного приросту може перегнати вітроенергетику і стане конкурентоспроможною з більшістю інших енергетичних технологій [12].

Для виготовлення ФЕП найбільше використовуються різні типи кремнію: аморфний, моно- полі- (мульти-) кристалічний і тонкоплівкові. Монокристалічні ФЕП найбільш складні і дорогі. Для їх виготовлення використовують цільний кристал кремнію. Мають високий ККД 22 %. Полікристалічні – дешевші у виготовленні, але ККД – 17 %. Тонкоплівкові ФЕП із аморфного кремнію є найбільш дешевою технологією. Такі ФЕП найменш ефективні, ККД 10 %. Проте з кожним роком технологія виготовлення ФЕП і ККД покращуються, а вартість падає.

Світова наука передбачає використати для виготовлення ФЕП арсенід галію й досягти на них ККД більший від 40 % [9].

Недоліком усіх ФЕС є те, що генерування електроенергії відбувається стохастично, і електрична потужність віддана в мережу, не регулюється [15].

Автономна присадибна СЕС може бути основним або додатковим джерелом електроенергії для селянської садиби, чи дачі. Основними елементами сонячної системи є: сонячні панелі (сонячні батареї), контролер заряду, акумуляторні батареї (АБ) та інвертор. Сонячна батарея (СБ) – це комплекс невеликих за розмірами ФЕП, в завдання якого входить перетворення сонячного світла в потік позитивно і негативно заряджених електронів (електричний струм). Один ФЕП генерує 0,5 V. У завдання СБ входить вироблення електроенергії напругою 18 В – цього цілком достатньо, щоб зарядити дванадцятивольтову АБ. Технічна характеристика СБ потужністю 10 Вт наведена в табл. 5.3.

Для накопичення надлишкової електроенергії та використання її у випадках, коли споживання перевищує вироблення, використовують АКБ. Підключення СБ напряму до АКБ для її заряду неприпустимо, оскільки це може привести до їх пошкодження. Саме для захисту АКБ від перезарядження і для підтримки оптимальної роботи АБ використовують контролер заряду. В завдання інвертора входить перетворення постійного струму напругою 12 (24 чи 48) В у змінну напругу 220 В. Для енергопостачання будинку знадобиться інвертор з вихідною потужністю не менше 4 кВт. Контролер – прилад призначений для керування процесом зарядки-розрядки АБ від СБ. Для збільшення ККД ФЕП можна застосовувати їх охолодження, а для збільшення ефективності роботи побутових СБ в цілому можна використовувати концентратори сонячних променів або перейти до когенераційної технології [7; 11].

Проведено експериментальне дослідження СБ, технічні дані якої наведені в табл. 5.3.

Таблиця 5.3

Технічна характеристика сонячної батареї на 10 Вт

Розмір, мм	$P_n$ , Вт	$U_{xx}$ , В	$I_{кз}$ , А	$U_p$ , В	$I_p$ , А	Маса, кг	Ціна, USD (опт)
370x310x25	10,0	21,3	0,63	17,5	0,57	1,2	17,50 (14,50)

Джерело: [15]

Дослідження проводилися на південному балконі власної квартири в сонячний день для двох рівнів освітленості: на прямому сонці і за склом тришарового склопакету, що призводило до зменшення генерації струму вдвічі.

При спробах збільшити відбір генерованого струму, напруга на СБ падає, а потужність продовжує залишатися практично незмінною (рис. 5.21, а). Це говорить про те, що СБ є майже ідеальним джерелом струму, що якраз і треба для зарядки АБ [15]. Точки на вертикальній частині ВАХ є точками максимальної потужності, які змінюються при зміні освітленості.

За результатами виміру СБ побудована ВАХ і графік залежності відбору потужності від напруги на СБ, знятий при двох рівнях освітлення (рис. 5.21) [15].

Отже, для зарядки АБ можна застосувати СБ, яка має максимальний генерований струм приблизно рівний струму зарядки АБ. У цьому випадку СБ автоматично буде заряджати АБ необхідним струмом при своєму освітленні.

Технічні характеристики СБ, наведені в табл. 5.3 не відповідають фактичним. Тому перед монтажем СБ їх обов'язково треба діагностувати. СБ необхідно підключати до АКБ через діод Шотткі, з низьким значенням падіння прямої напруги, та дуже швидким перемиканням [15]. Це необхідно для того, щоб не сталося розрядки АБ через внутрішній опір СБ при несприятливому освітленні, коли напруга на СБ може впасти нижче, ніж напруга на АБ. Якщо, АБ будуть використовуватися для роботи під час своєї зарядки-підзарядки, то знадобиться ще й буферний конденсатор [15].

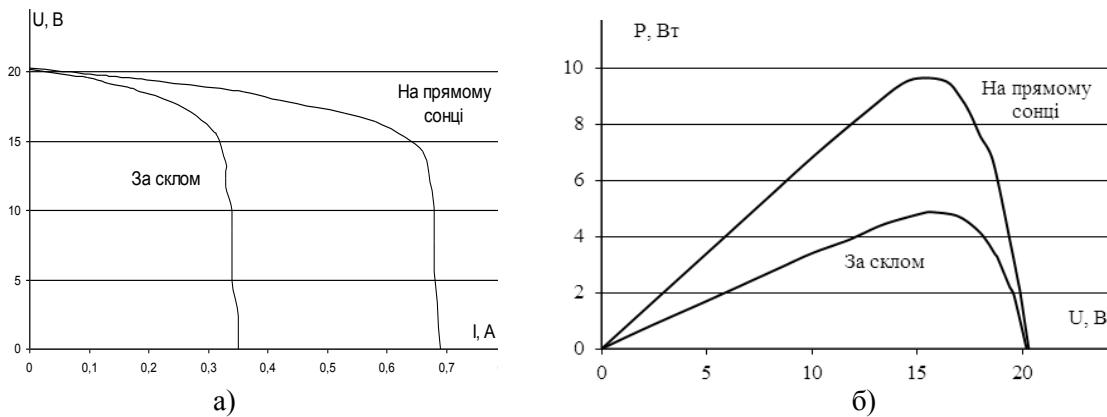


Рис. 5.21. Характеристики СБ: а) ВАХ, б) залежність потужності від напруги СБ

Джерело: [15]

При використанні СБ необхідно прагнути до того, щоб СБ були розміщені на максимально освітленому місці і освітлені однаково; дотримуватися температурного режиму, який вказаний в паспорті СБ, зазвичай, це  $-40^{\circ}\text{C} \dots +50^{\circ}\text{C}$ ; розташовувати СБ на поверхні, малосхильною до нагрівання; необхідно звернути увагу споживача, що в деяких випадках СБ може зробити перезаряд АБ. А це призведе до переполюсовки елементів АБ і до виходу її з ладу [15; 16].

Ефективність роботи СЕС в значній мірі визначається ККД ФЕП і суттєво залежить від їхньої температури. При нагріві ФЕП на один градус зверх  $25^{\circ}\text{C}$  він втрачає в напрузі  $0,002\text{ В}$ , тобто  $0,4\% / ^{\circ}\text{C}$ . У яскравий сонячний день елементи нагріваються до  $60 \dots 70^{\circ}\text{C}$  втрачаючи  $0,07 \dots 0,09$ . Це і є основною причиною зниження ККД, що приводить до падіння напруги, генерованої кожним ФЕП [7]. Світовий рекорд ККД кремнієвої сонячної батареї –  $42,8\%$ , гнучких ФЕП –  $17,7\%$ .

Відомий сонячний фотоелектричний модуль (ФЕМ) циліндричної форми Solyndra (від англійських слів “сонячний” і “циліндр”), що містить дві скляні трубки, трубка меншого діаметра покрита тонкою плівкою напівпровідникового матеріалу і поміщена в таку ж трубку більшого діаметра. Така форма дозволяє збільшити кількість поглинутого світла (а отже і електроенергії) на протязі дня без зміни положення конструкції ФЕМ [7; 11]. В ТДАТУ запатентовано [15] декілька ФЕМ циліндричної форми.

Сонячний ФЕМ циліндричної форми (рис. 5.22) з охолоджувальною рідиною, наприклад водою, містить дві скляні колби з боросилікатного скла.

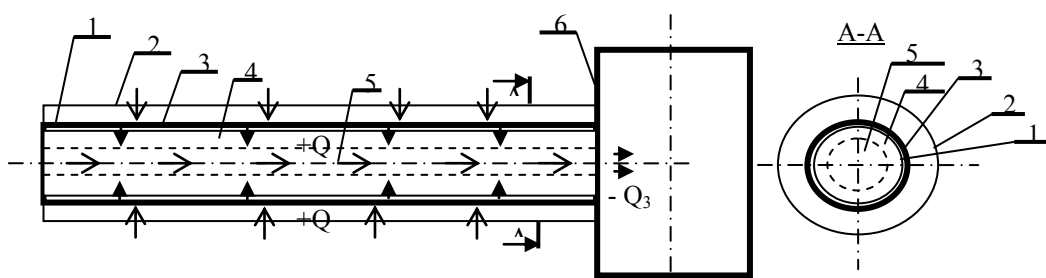


Рис. 5.22. Сонячний ФЕМ циліндричної форми, пат. 97080

Джерело: авторська розробка

Колба меншого діаметра розташована в прозорій колбі більшого діаметра, і з'єднані між собою подібно посудині Дьюара, з вакуумною порожниною між ними [44].

На рис. 5.23 зображений більш досконалий сонячний когенераційний модуль з термосифоном 4 за пат. 100635, який може бути використаний не тільки для охолодження, а і для комбінованої генерації електроенергії і теплоти, залежно від потреби в них. Термосифон 4, являє трубку із червоної міді, наповнену робочим тілом з низькою температурою кипіння, і герметично закриту, має зону випару, де відбувається нагрів рідини, її кипіння і пароутворення, і зону конденсації, де відбувається відбір конденсованої теплоти. Трубка установлена під кутом до горизонту з конденсатором у верхній частині. Конденсована рідина повертається в зону випару під дією сили тяжіння.

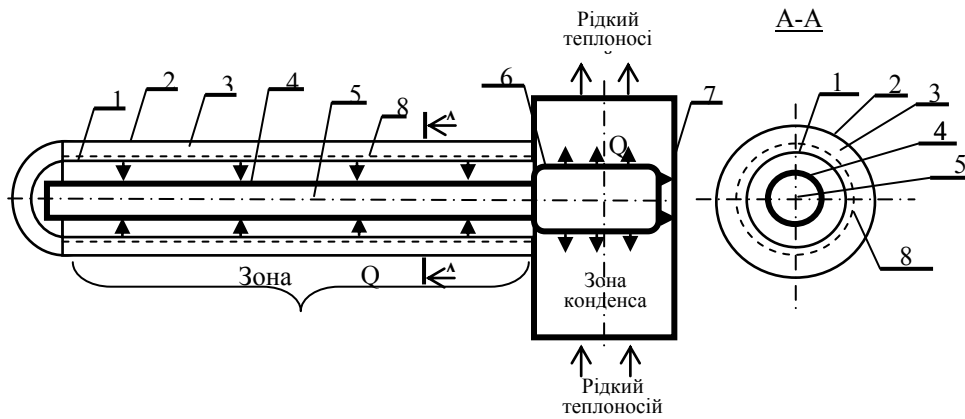


Рис. 5.23. Сонячний когенераційний ФЕМ з термосифоном, пат. 100635

Джерело: авторська розробка

На рис. 5.24 зображений сонячний когенераційний модуль циліндричної форми з тепловою трубкою, розділеною перегородкою на дві циліндричні частини.

Останній використаний в автономній сонячній когенераційній енергоустановці для рухомого об'єкта [18].

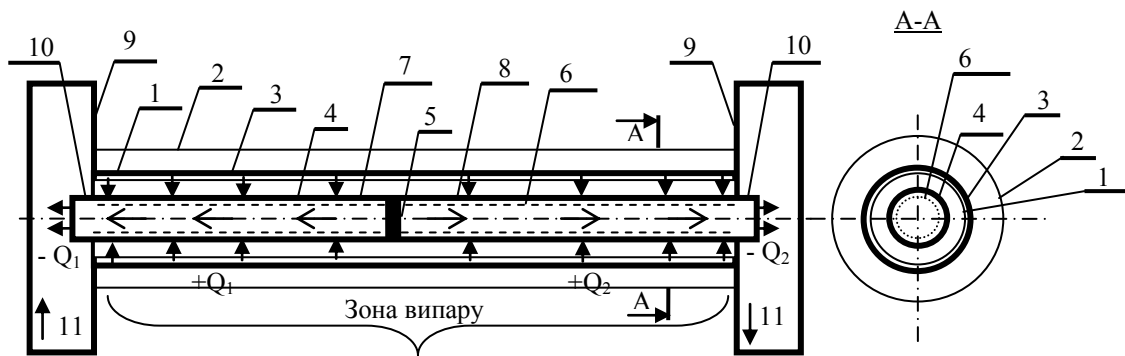


Рис. 5.24. Сонячний когенераційний модуль циліндричної форми, пат. 97782

Джерело: авторська розробка

Присадибна сонячна електростанція з ФЕМ циліндричної форми, установленими на даху будівлі під кутом до горизонту, рівним географічній широті місцевості, кожен ФЕМ містить дві коаксіально розташовані трубки із боросилікатного скла, з'єднані між собою з утворенням вакуумної колби типу посудини Дьюара, внутрішня трубка покрита фотоелектричним перетворювачем з виведеними електричними гермоконтактами і наповнена охолоджуючою рідиною. Крім того, містить акумулятор, контролер, інвертор, фотоелектричні модулі об'єднані в батарею зі спільним охолоджувальним колектором, з'єднані паралельно, і приєднані через контролер до акумулятора, до іншого виходу контролера приєднані споживачі постійного струму безпосередньо, а споживачі змінного струму приєднані через інвертор [16].

В основу корисної моделі за пат. 107991 поставлена задача збільшення ефективності автономної когенераційної енергоустановки за пат. 100635, шляхом відбору теплоти конденсації робочого тіла в термосифоні, і підвищення загального ККД. Поставлена задача вирішується за рахунок того, що автономна когенераційна енергоустановка [20] з гібридними ФЕМ, згідно з корисною моделлю, містить гібридний ФЕМ циліндричної форми, термосифон у вигляді окремого металевому корпусу, запаяного з обох сторін, наповненого під вакуумом робочим тілом з фазовим переходом і низькою температурою замерзання, розташований у вакуумній колбі типу посудини Дьюара [44], герметичний корпус термосифона, виконаний із чистої червоної міді, з конденсатором, контактуючим з спільним охолоджувальним колектором, наповненим рідким незамерзаючим теплоносієм, бак-акумулятор з теплообмінником.

На рис. 5.27 зображена запатентована пат. 107991 присадибна когенераційна СЕС з гібридними ФЕМ [20].

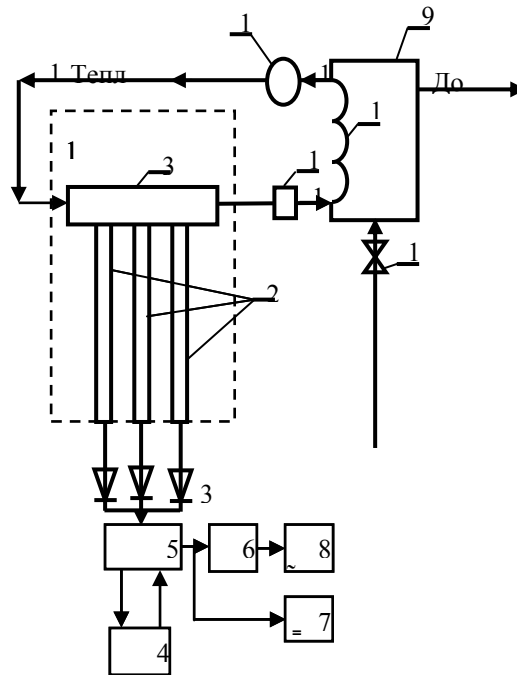


Рис. 5.25. Присадибна когенераційна СЕС з ФЕМ, пат.107991

*Джерело: авторська розробка*

Автономна когенераційна СЕС з гібридними ФЕМ [20] містить батарею 1 із декількох ФЕМ 2 циліндричної форми, об'єднаних спільним охолоджувальним колектором 3, акумулятор 4, контролер 5, інвертор 6, споживачі постійного струму 7, приєднані до виходу контролера 5 безпосередньо, споживачі змінного струму 8, приєднані через інвертор 5, бак-акумулятор 9 з ТО 10 і трубопроводами 11, 12, термодатчик 13 на вхідному 11 і вихровий насос 14 на вихідному трубопроводі 12 з рідким теплоносієм 15, електрочапан 16.

Гібридний ФЕМ 2 циліндричної форми (рис. 5.24) містить дві скляні трубки 17, 18 із боросилікатного скла. Внутрішня трубка 17 розташована в прозорій трубці 18 більшого діаметра (одна в одній), з'єднані між собою подібно посудині Дьюара [44], з вакуумною порожниною 19 між ними. Зовнішня поверхня внутрішньої трубки 17 вкрита плівкою із напівпровідникових ФЕП 20, яка наноситься безпосередньо на скло, з'єднаних електрично послідовно. Всередині внутрішньої трубки 17 розташований термосифон у вигляді герметичного корпусу 21 з чистої червоної міді, з конденсатором 22, контактуючим з охолоджувальним колектором 3, з рідким незамерзаючим теплоносієм 15, наприклад, антифризом. Герметичний корпус 21 і конденсатор 22 наповнені робочим тілом 23, з фазовим переходом, від рідини до газу і навпаки, з низькою температурою замерзання, з зоною випару та зоною конденсації. В якості робочого тіла 23 можуть бути використані: етанол або його водний розчин, і/або ацетон, і/або ефір або їхня суміш.

Удосконалення енергоустановки призводить до комбінованої генерації електричної енергії і теплоти, збільшують її загальний ККД і ефективність.

Розроблена сонячна когенераційна установка для рухомого об'єкта (наприклад, для баржі, яхти чи збирального комбайна) [18]:

1. Автономна сонячна когенераційна енергоустановка для рухомого об'єкта, яка складається з сонячних модулів циліндричної форми, акумулятора, контролера заряду-розряду, інвертора, кожен сонячний модуль циліндричної форми містить дві коаксіально розташовані трубки із боросилікатного скла, з'єднані між собою з утворенням вакуумної колби, трубка меншого діаметра покрита послідовно з'єднаними ФЕП з виведеними електричними гермоконтактами, сонячні модулі циліндричної форми об'єднані в батарею з паралельним з'єднанням пар електричних гермоконтактів, приєднаних через контролер заряду-розряду до акумулятора, до іншого виходу контролера заряду-розряду приєднані споживачі постійного струму безпосередньо, а споживачі змінного струму – через інвертор, яка відрізняється тим, що в порожнині скляної трубки меншого діаметра коаксіально розташована теплова труба з циліндричним герметичним корпусом із теплопровідного матеріалу та капілярною структурою внутрішньої поверхні, наповненим робочим тілом з фазовим переходом, від рідини до газу і навпаки, в центрі зони випару циліндричного корпусу установлена перегородка, яка розділяє циліндричний

корпус на дві герметичні частини, конденсатозбірники розташовані в зонах конденсації на протилежних кінцях циліндричного корпусу, контактуючими зі спільним збирачем теплоти, наповненим рідким незамерзаючим теплоносієм.

2. Автономна сонячна когенераційна енергоустановка для рухомого об'єкта за п. 1, яка відрізняється тим, що як робоче тіло використаний етанол ( $C_2H_5OH$ ) або його водний розчин.

Аналіз розробок [7] показав, що для автономної присадибної СЕС [16] із споживачами електричного струму найбільш прийнятним є запатентований в ТДАТУ пат. 97080 ФЕМ циліндричної форми з водою. Використання води в якості охолоджуючої рідини дозволяє охолоджувальний контур виконати відкритим, підігріту воду використовувати для господарських потреб, наприклад, для зрошення рослин, для душу, миття посуду тощо [15]. Щодо можливості інтегрування в електромережу і енергосистему України ОЕСУ, то прийнятною є автономна когенераційна енергоустановка за пат. 107991 [20]. Для установки на баржі, на яхті чи зернозбиральному комбайні [18] прийнятна тільки установка за пат. 107333.

Для підвищення ефективності роботи побутової ФЕС розроблена функціональна схема (рис. 5.26), діюча модель та дослідний зразок пульта керування [15]. Для контролю кінцевих положень фотопанелі 1 встановлені ПЧ переривники 10, сигнал яких поступає до блока 7 керуючої логіки. Інформація щодо поточної генерованої потужності виводиться на дисплей 11. Ручний режим роботи та налагодження пристрою забезпечується за допомогою блока 12 введення інформації. Напруга з виходу фотопанелі 1 поступає на блок 2 управління зарядки – розрядки який подає інформацію про поточне генерування потужності на мікроконтролер 7. При наявності достатнього рівня генерованої потужності починається заряд АБ 3. В пристрої реалізований принцип пошуку положення Сонця за допомогою блока фотодатчиків 5, розташованих на чотирьох гранях приймальної піраміди 14, кут нахилу яких становить  $45^\circ$ . Сигнал фотодатчиків 5 поступає на підсилювач-формувавч 6 сигналу, де відбувається його обробка для сумісності з мікроконтролером 7.

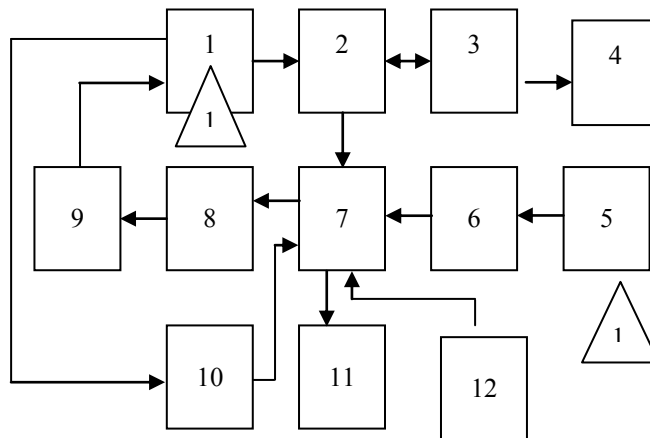


Рис. 5.26. Система автоматичного стеження фотопанелі побутової СЕС за Сонцем

Джерело: авторська розробка

Пристрій являє собою два незалежних модуля, які з'єднані між собою шлейфами. Перший модуль містить чотири фотодатчика. Кожен з фотодатчиків спрямований під кутом  $45^\circ$  до денного сонцестояння і фіксує кут положення Сонця по відношенню до Землі. Другий модуль – система управління поворотним механізмом, до складу якої входять три основних функціональних блоки: блок керування живленням і розподілом накопичуваної енергії; блок керуючих сигналів з індикацією; драйвери крокових двигунів [15].

У робочому режимі на дисплей виводиться інформація про стан, джерела сигналів, поточна напруга та струм заряду батареї. Дослідний зразок пульта керування зібраний в корпусі:  $140 \times 70 \times 180$  мм [15]. Пульт оснащено власною АБ, від якої може житися схема і крокові двигуни, призначені для повороту панелі за Сонцем. У пристрої використані фотодатчики типу APDS-9007-020. Попередні дослідження і досвід наших партнерів показали, що ефективність рухомих фотопанелей зростає на 25 – 30 % [15], але відповідно зростають і витрати на власні потреби, зокрема на роботу електропривода для обертання фотопанелей за Сонцем, робота діючих установок потребує збільшення відчуження земельної території. Тому для впровадження поворотних СЕС знадобиться індивідуальне обґрунтування кожної установки.

За останні роки в Україні спостерігається стрімке зростання приватних СЕС. На сьогодні всього в Україні налічується 6,5 млн. приватних домогосподарств. З них на кінець 2017 р. тільки 3010 оснащені сонячними енергоустановками. У табл. 5.4 наведена динаміка зростання приватних СЕС.

**Кількість приватних СЕС в Україні, що працюють за “зеленим” тарифом**

Роки	Кількість	Потужність, МВт
2014	21	0,1
2015	244	2,2
2016	1109	16,7
2017	3010	51

Джерело: [8]

Найбільша кількість СЕС у приватних домогосподарствах у наступних регіонах України: Київська обл. та м. Київ – 516; Дніпропетровська обл. – 297; Тернопільська обл. – 227. Загалом, за три роки приватними домогосподарствами інвестовано у встановлення СЕС майже 52 млн. євро [45].

Стрімкий попит населення на “сонячну” електроенергію пояснюється прийнятим у 2015 р. Законом України № 514-VIII, яким надано вигідний “зелений” тариф із прив’язкою до курсу євро. Це означає, що домогосподарство може продавати надлишок генерованої “чистої” електроенергії в мережу і швидко повертати кошти, вкладені у СЕС без застережень щодо інфляції. НКРЕКП затвердила нові “зелені” тарифи для населення. Протягом минулих 10 років ціни на СЕС зменшилися більше ніж у 30 разів, враховуючи той факт що їхня ефективність зростає. Тільки за останні 2 роки вартість сонячних панелей знизилася у 2 рази. Таке зниження цін обумовлено новими технологічними рішеннями, та значною конкуренцією між фірмами виробниками [8].

Всі статистичні дані взяті із сайту Держенергоефективності України [45].

За даними АСКОЕ побудовані ДГН перших трьох приватних дахових СЕС різної потужності, розташованих у різних місцях, нашого міста [8]: СЕС1, Руст = 20 кВт, СЕС2, Руст = 5,2 кВт і СЕС3, Руст = 30 кВт.

На рис. 5.27 і 5.28 подані ДГН кожної СЕС і сумарний СЕСекв за 3 дні жовтня місяця. Усі ДГН добре корелюються між собою.

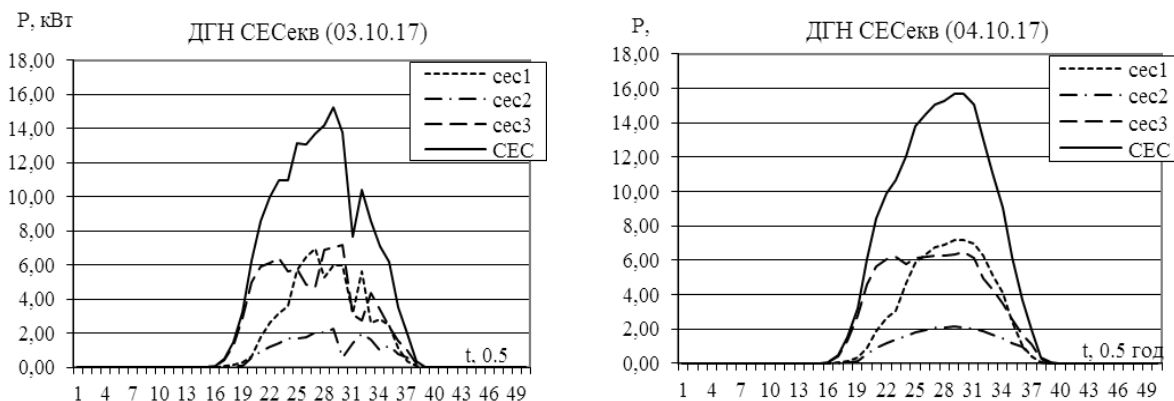


Рис. 5.27. ДГН перших приватних СЕС у нашому місті,  $P_{\text{пик}}$  о 14 – 15 год.

Джерело: [8]

На рис. 5.29 подані ДГН за три робочі дні і еквівалентний для одного з переробних підприємств нашого міста – молокозаводу. Вони також добре корелюються з ДГН СЕС.

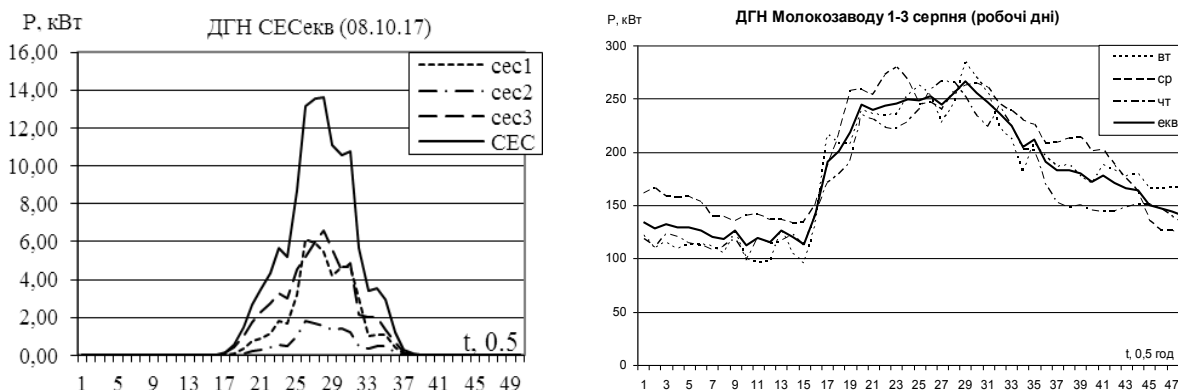


Рис. 5.28. Побудова еквівалентної СЕС  
Джерело: [8]

Рис. 5.29. ДГН ММЗ за робочі дні



Пік потужності ДГН СЕС в часі, близько 14 год., практично співпадає з піком молокозаводу, м'ясокомбінату і місцевої електромережі. Отже, приватні дахові СЕС без проблем інтегруються в електромережу і ОЕС України [8].

У табл. 5.5 наведене помісячне споживання (+) і відпуск (-) електроенергії домогосподарством № 1. Найбільший відпуск (генерація) електроенергії припадає на серпень.

Таблиця 5.5

**Помісячне споживання (відпуск) електроенергії домогосподарством № 1, кВт-год.**

Місяць	Споживання (+)	Відпуск (-)
Березень	2047,275	627,536
Квітень	279,439	1335,630
Червень	105,299	2267,051
Липень	133,306	2269,624
Серпень	197,750	2310,067
Вересень	234,402	1905,131
Жовтень	288,279	857,176

Джерело: [8]

У табл. 5.6 наведені дані про продаж електроенергії за “зеленим” тарифом, як різниця між генерацією і споживанням.

Таблиця 5.6

**Продаж електроенергії домогосподарствами в енергосистему за “зеленим” тарифом за жовтень 2017 р., кВт-год.**

Домогосподарство	Споживання (+)	Відпуск (-)	Продаж
№ 1	288,279	857,176	569
№ 2	141,332	296,590	155
№ 3	242,395	1257,199	1015
Разом за жовтень	672,006	2410,965	1739

Джерело: [8]

Визначення енергетичних показників за експериментальними ДГН приватних дахових СЕС нашого міста (табл. 5.7).

Таблиця 5.7

**Енергетичні показники приватних СЕС, станом за жовтень 2017 р.**

Показники	СЕС <sub>1</sub>	СЕС <sub>2</sub>	СЕС <sub>3</sub>
Орієнтація	південь	південь	схід-захід
$P_{уст}$ , кВт	30	5,2	30
$P_m$ , кВт	7	2,25	7,1
$W_d$ , кВт-год.	60,88	25,07	88,77
$K_m = P_m / P_{уст}$	0,35	0,43	0,237
$K_{ВЕУП} = W_d / 24P_{уст}$	0,139	0,201	0,123
Коеф. парної кореляції з СЕС <sub>1</sub> $r_{xy}$	$r_{xv} =$	0,986945	-
	$r_{xy} =$	-	0,936412

Джерело: [8]

Коефіцієнт максимальної потужності визначався за формулою:

$$K_m = P_{max} / P_{уст}, \quad (5.23)$$

де  $P_m$  і  $P_{уст}$  – відповідн, максимальна і установлена потужність, кВт.

Коефіцієнт використання встановленої потужності (КВВП) за формулою:

$$K_{ВВП} = W / 24P_{уст}, \quad (5.24)$$

де  $W$  – електроенергія відпущена за добу, кВт-год.

Коефіцієнт кореляції  $r_{xy}$  визначався за формулою:

$$r_{xy} = \frac{\sum (x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2 \cdot \sum (y_i - \bar{y})^2}}. \quad (5.25)$$

де  $x_i$  – значення змінної  $x$ ;

$y_i$  – значення змінної  $y$ ;

$\bar{x}$  – середнє арифметичне значення для змінної  $x$ ;

$\bar{y}$  – середнє арифметичне значення для змінної  $y$ .

Із аналізу табл. 5.5 слідує: – найбільш високі енергетичні показники у найменш потужної СЕС2 з орієнтацією на південь,  $K_{ввп} = 0,201$ , у СЕС1  $K_{ввп} = 0,139$  – менший на 45 %, а у СЕС3 з орієнтацією схід-захід  $K_{ввп} = 0,123$  – менший на 63 %; – кореляція ДГН у приватних дахових СЕС дуже сильна, у СЕС1 і СЕС2 з орієнтацією на південь кореляція сильніша ( $r_{xy} = 0,986945$ ), з різною орієнтацією – у СЕС1 і СЕС3 кореляція дещо менша ( $r_{xy} = 0,936412$ ).

У даний час у всьому світі велика увага приділяється процесам когенерації, які забезпечують комбіноване (сумісне) виробництво електричної і теплової енергії від одного джерела. В ТДАТУ розроблені і запатентовані когенераційні технології та технічні засоби їх реалізації для приватних домогосподарств.

Окрім розвитку комерційної відновлюваної енергетики, в Україні є необхідність розвивати некомерційну, в першу чергу, “сільську”, “фермерську”, “для двору”. Це служить децентралізації енергопостачання, дозволяє диверсифікувати джерела енергії, зробити більш енергонезалежною Україну, і фермерів зокрема.

За експериментальними ДГН трьох приватних дахових СЕС нашого міста визначені відносні енергетичні показники, коефіцієнт максимуму потужності  $K_m$  і коефіцієнт використання встановленої потужності  $K_{вввп}$ . Найвищі показники у найменш потужної СЕС2 з орієнтацією панелей на південь. Аналіз ДГН різних дахових СЕС показав дуже сильну кореляцію між СЕС з орієнтацією на південь ( $r_{xy} = 0,986945$ ), дещо меншу ( $r_{xy} = 0,936412$ ) для СЕС з різною орієнтацією (+схід-захід).

Пік ДГН усіх приватних дахових СЕС припадає на 14 годину, і практично співпадає з піками ДГН молокозаводу, м'ясокомбінату і місцевої електромережі.

Отже, приватні дахові СЕС без проблем інтегруються в електромережу і ОЕС України.

Розробки захищені патентами України і впроваджені в освітні процеси ТДАТУ, НТУ “ХП”, НТУ “КП”, ХНТУСГ, МДПУ і частково в приватному домогосподарстві (пат. 95186, 104467, 107616), деякі нагороджені Золотими медалями IX і XI Міжнародного Салона (2013, 2015 рр.) винаходів і нових технологій “Новий час”, дипломами за зайняті призові місця на Всеукраїнських конкурсах наукових робіт студентів (2016, 2017 рр.) під керівництвом авторів.

### **5.5. Енергетичні витрати та обґрунтування параметрів жолоба робочих русел комбінованого очисника вороху цукрових буряків**

© Рамш В. Ю.

*к.т.н., доцент, завідувач кафедри енергетики і автоматики відокремленого підрозділу  
Національного університету біоресурсів і природокористування України  
“Бережанський агротехнічний інститут”, м. Бережани, Україна*

Ефективне очищення коренеплодів від землі і рослинних залишків, або інтенсифікація процесу відокремлення домішок від коренеплодів цукрових буряків забезпечується за рахунок утворення жолоба активних робочих русел транспортування вороху вздовж шнеків очисника [2; 4; 9; 21]. Основні конструктивно-кінематичні параметри комбінованого очисника вороху та їх взаємозв'язок регламентований критеріями значень основних показників якості та показниками технологічно-експлуатаційної стабільності його роботи [1; 22].

З метою формалізації процесу сепарації вороху об'єктом дослідження та для подальшого обґрунтування параметрів комбінованого очисника розглянемо його складену розрахункову схему жолоба активних робочих русел, яку наведено на рис. 5.30 і технологічний процес роботи очисника.

Жолоб активних русел очисника утворений двома парами 1 і 2 поздовжніх шнеків, осі  $O_1, O_2, O_3, O_4$  центрів обертання яких розміщені на лінії дуги  $O_1CO_4$ , яка утворена радіусом  $R_0$ . Шнеки, які встановлені з зазором  $s_d$  між своїми валами, обертаються з кутовою швидкістю  $\omega$ , причому кожна пара шнеків і шнеки однієї пари мають одностороннє обертання відносно один до одного. Шнеки кожної пари мають однакові конструктивні розміри: зовнішній діаметр шнеків –  $D$ ; діаметр труби –  $d$ .

Секундна подача вороху в кількості  $W_c$  із нижнього сходу очисної гірки 2 надходить на поздовжні пари 1, 2 шнеків очисника, заповнюючи простір жолоба активних робочих русел. При цьому під час руху вороху вздовж робочих русел із середньою швидкістю  $V_n$ , основна частина сипкого ґрунту, дрібних ґрунтових грудок і рослинних домішок сепарується через зазор  $s_d$  між валами шнеків, а коренеплоди інтенсивно очищуються очисними пружними елементами 3 від налиплиго на їх поверхні ґрунту і переміщуються шнеками до наступних ТТС КМ.

Для формалізації процесу роботи очисника приймаємо такі припущення:

- жолоб активних робочих русел очисника утворений контуром просторової фігури, поперечний переріз якої обмежений січенням вертикальною площиною  $ABO_4CO_1A$ ;
- ворох коренеплодів розташовується на шнеках у один ряд [3] вздовж їх осей обертання;
- нехтуємо, як незначним, об'ємом спіральних витків і очисних елементів, який вони займають у об'ємі жолоба робочих русел.

Обґрунтування параметрів шнеків та утвореного ними жолоба активних русел проведемо на основі аналізу руху технологічної маси по поверхнях основного елемента конструкції очисника, тобто по шнеку. Взаємозв'язок між конструктивними та кінематичними параметрами шнеків і розмірними характеристиками жолоба, утвореного робочими руслами шнеків, встановимо на основі аналітичного аналізу необхідної пропускної здатності очисника  $W_0$ , або розрахункової продуктивності шнеків  $Q_0$  [12; 13].

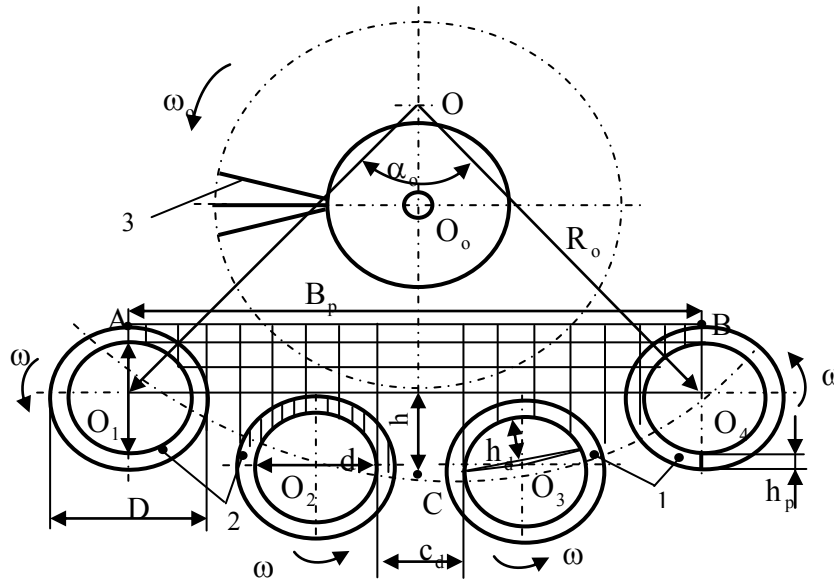


Рис. 5.30. Схема до розрахунку параметрів жолоба очисника:

1, 2 – пари поздовжніх шнеків; 3 – очисні елементи

*Джерело: авторська розробка*

У загальному випадку транспортування вантажів для визначення продуктивності робочих органів  $Q_M$  (кг/с) використовують залежність [4; 29]:

$$Q_M = \gamma_G F V_c = Q_o, \quad (5.26)$$

де  $\gamma_G$  – об'ємна маса вантажу, кг/м<sup>3</sup>;

$F$  – площа поперечного перерізу потоку (вантаж), м<sup>2</sup>;

$V_c$  – середня швидкість переміщення потоку, м/с.

У нашому випадку, для гвинтових конвеєрів площу поперечного перерізу потоку  $F$  визначають через площу прохідного перерізу жолоба  $F_n$  очисника та загального коефіцієнта заповнення простору жолоба  $\varphi_k$  [16; 23; 24], а середня швидкість переміщення потоку  $V_c$  буде адекватна поздовжній швидкості переміщення коренеплодів згідно прийнятого припущення, або швидкості транспортування коренеплодів  $V_n$  [7] по робочих руслах очисника.

Згідно з [1; 11; 19] для забезпечення необхідної пропускної здатності очисника  $W_o$  та необхідного очищення вороху коренеплодів від домішок середня швидкість переміщення потоку  $V_c$  повинна погоджуватися з продуктивністю КМ або секундною подачею вороху до очисника  $W_c$ .

Швидкість транспортування коренеплодів  $V_n$  по робочих руслах, утворених парами шнеків визначається за залежністю [7]:

$$V_n = \frac{W_c}{B_p q} = \frac{W_c}{k q (D + c_d)}, \quad (5.27)$$

де  $B_p$  – ширина робочого русла, м;

$q$  – маса вороху коренеплодів, розміщених в один шар на площі 1 м<sup>2</sup>, кг/м<sup>2</sup>;

$k$  – кількість робочих русел очисника;

$D$  – діаметр шнека, м;

$c_d$  – зазор між валами шнеків, м.

Застосувати складову  $B_p = k (D + c_d)$  залежності (5.27) для подальшого аналізу в нашому випадку неможливо, тому що за даним виразом визначається ширина робочого русла для шнекових валів, які розташовані горизонтально, а їх осі обертання знаходяться в одній площині.

Крім того, частина домішок вороху коренеплодів інтенсивно сепарується через зазори  $c_d$  між валами шнеків, значення якої врахуємо через поправочний коефіцієнт сепарації домішок  $\lambda_0$  [16; 19; 15; 17; 18].

Тоді згідно з (5.27) і припущення, що дольова участь домішок у об'ємній масі вантажу  $\gamma_G$  незначна, тобто вона складається тільки з питомої маси коренеплодів, або  $\gamma_G \cong \rho_k$ , залежність (5.26) запишемо у вигляді:

$$W_o = Q_o \geq \lambda_o \frac{W_c F_n \rho_k \phi_k}{B_p q}, \quad (5.28)$$

де  $Q_o$  – продуктивність очисника, кг/с;  
 $\lambda_o$  – коефіцієнт сепарації домішок очисником;  
 $F_n$  – площа прохідного перерізу жолоба, м<sup>2</sup>;  
 $\rho_k$  – питома маса коренеплодів, кг/м<sup>3</sup>;  
 $\phi_k$  – коефіцієнт заповнення жолоба.

Площа прохідного перерізу  $F_n$  жолоба  $ABO_4CO_1A$  складається з суми площ прямокутника  $ABO_4O_1$  та сегмента  $O_1O_4CO_1$  за виключенням із них сумарної площі, яку займають сектори валів  $i$ -их шнеків у площі  $F_n$ , тобто:

$$F_n = F_{np} + F_c - (F_{c.d_1} + F_{c.d_2} + \dots + F_{c.d_n}) = F_{np} + F_c - \sum_{i=1}^n F_{c.d_i}, \quad (5.29)$$

де  $F_{np}$ ,  $F_c$  – відповідно площа прямокутника  $ABO_4O_1$  і сегмента  $O_1O_4CO_1$ , м<sup>2</sup>;

$\sum_{i=1}^n F_{c.d_i}$  – сумарна площа секторів валів  $i$ -их шнеків, м<sup>2</sup>;

$F_{c.d_1}$ ,  $F_{c.d_2}$ , ...,  $F_{c.d_n}$  – площа сектора труби вала  $i$ -го шнека, м<sup>2</sup>;

$i = 1, 2 \dots n$  – кількість шнеків жолоба робочого руслу, шт.

Площа прямокутника  $ABO_4O_1$  визначається:

$$F_{np} = 0,5DB_p, \quad (5.30)$$

де  $D$  – зовнішній діаметр шнека, м.

Згідно з [20] площа поперечного перерізу сегмента  $F_c$  та довжина хорди, або робоча ширина жолоба  $B_p$  дорівнюють:

$$F_c = 0,5R_o^2 \left[ (\pi \alpha_o / 180) - \sin \alpha_o \right]; \quad B_p = 2R_o \sin(\alpha_o / 2), \quad (5.31)$$

де  $R_o$  – радіус дуги  $ACD$ , м;

$\alpha_o$  – центральний кут, який стягує дугу  $ACD$ , град.

Крім того, згідно з [20] і [30] виразимо  $\sin(\alpha_o / 2)$  і ширину жолоба  $B_p$ :

$$\sin(\alpha_o / 2) = \sqrt{\frac{1 - \cos \alpha_o}{2}}; \quad B_p = 2\sqrt{2h_o R_o - h_o^2}, \quad (5.32)$$

де  $h_o$  – висота сегмента  $O_1O_4CO_1$ , м.

Тоді, визначивши центральний кут  $\alpha_o = \arccos \left[ (2R_o^2 - B_p^2) / 2R_o^2 \right]$  із другого рівняння залежностей (5.31) і першого рівняння (5.32) та підставивши значення  $\alpha_o$  і значення  $B_p$  із другого рівняння (5.31) у перше рівняння (5.31) отримаємо залежність для визначення площі поперечного перерізу  $F_c$  сегмента  $O_1O_4CO_1$ :

$$F_c = 0,5R_o^2 \left\{ \left[ \frac{\pi}{180} \arccos \left( \frac{(R_o - 2h_o)^2 - 2h_o^2}{4R_o^2} \right) \right] - \left[ -\sin \left[ \arccos \left( \frac{(R_o - 2h_o)^2 - 2h_o^2}{4R_o^2} \right) \right] \right] \right\}. \quad (5.33)$$

Площу сектора труби вала кожного  $i$ -го шнека, яка займає відповідну площу в площі  $F_c$  сегмента  $O_1O_4CO_1$ , виразимо через площу поперечного перерізу труби вала шнека та відповідного коефіцієнта пропорційності  $k_{d_i}$ , фізичну суть якого визначимо, як відношення відповідної площі сектора труби вала кожного  $i$ -го шнека до площі поперечного перерізу труби вала шнека, тобто:  $k_{d_i} = F_{c.d_i} / F_d$ , де  $F_d$  – площа поперечного перерізу труби вала шнека, м<sup>2</sup>.

Тоді, сумарну площу секторів  $\sum_{i=1}^n F_{c.d_i}$  валів шнеків визначимо через площу поперечного перерізу

труби вала шнека  $F_d$  та сумарного коефіцієнта пропорційності суми площ секторів, які утворені поперечними перерізами валів шнеків і які займають відповідну площу в площі  $F_c$  сегмента  $O_1O_4CO_1$  поперечного прохідного перерізу  $F_n$  жолоба  $ABO_4CO_1A$ , утвореного руслами шнеків, тобто:

$$\sum_{i=1}^n F_{c,d_i} = F_d \sum_{i=1}^n k_{d_i}, \quad (5.34)$$

де  $\sum_{i=1}^n k_{d_i}$  – сумарний коефіцієнт пропорційності, який характеризує числову кратність, або відповідність кількості площ труби вала шнека, які займають площу  $F_c$  сегмента  $O_1O_4CO_1$ .

Значення коефіцієнта пропорційності  $k_{d_i}$  визначимо згідно з співвідношень рівнянь площі сектора труби вала шнека  $F_{c,d}$  і площі труби вала шнека  $F_d$ , а значення сумарного коефіцієнта пропорційності  $\sum_{i=1}^n k_{d_i}$  – з врахуванням конструктивних особливостей комбінованого очисника (рис. 5.34).

Площа сектора труби вала шнека  $F_{c,d} = \pi r^2 \alpha_d / 360$ , де  $r$  – радіус труби вала шнека (м);  $\alpha_d$  – центральний кут (град.) відрізняється від площі поперечного перерізу труби вала шнека  $F_d = \pi r^2$  [20] значенням складової  $\alpha_d / 360$ , тобто в нашому випадку вираз  $\alpha_d / 360$  і буде адекватним коефіцієнтом пропорційності  $k_{d_i}$ , тобто:

$$\begin{cases} k_{d_i} = \frac{\pi r^2 \alpha_d / 360}{\pi r^2} = \frac{\alpha_d}{360}; & \sum_{i=1}^n k_{d_i} = \sum_{i=1}^n \frac{\alpha_{d_i}}{360}; \\ \sum_{i=1}^n F_{c,d_i} = F_d \sum_{i=1}^n k_{d_i} = 0,25\pi d^2 \sum_{i=1}^n \frac{\alpha_{d_i}}{360} \end{cases} \quad (5.35)$$

Центральний кут  $\alpha_d$  визначимо згідно з положеннями [20], при цьому:

$$h_d = r[1 - \cos(\alpha_d / 2)]; \quad \alpha_d / 2 = \arccos\left(\frac{h_d}{r} - 1\right); \quad \alpha_d = 2 \arccos\left(\frac{2h_d}{d} - 1\right), \quad (5.36)$$

де  $h_d$  – висота сегмента сектора, утвореного центральним кутом  $\alpha_d$ , м;

$d$  – діаметр труби вала шнека, м.

Сумарна площа секторів  $\sum_i F_{c,d_i}$  валів шнеків згідно з (5.35), (5.36) буде:

$$\sum_{i=1}^n F_{c,d_i} = 0,25\pi d^2 \sum_{i=1}^n \frac{\arccos\left(\frac{2h_{d_i}}{d} - 1\right)}{180}. \quad (5.37)$$

Тоді, підставивши значення (5.35), (5.37), (5.38) у формулу (5.29) одержимо рівняння для визначення площі поперечного перерізу  $F_n$  прохідного жолоба  $ABO_4CO_1A$ , утвореного руслами шнеків:

$$F_n = D\sqrt{2h_o R_o - h_o^2} - \frac{\pi}{360} \left[ 0,5d^2 \sum_{i=1}^n \arccos\left(\frac{2h_{d_i}}{d} - 1\right) + R_o^2 Z \right], \quad (5.38)$$

$$\text{де } Z = \left[ \arccos\left(\frac{(R_o - 2h_o)^2 - 2h_c^2}{4R_o^2}\right) \right] - \frac{\pi}{180} \sin \left[ \arccos\left(\frac{(R_o - 2h_o)^2 - 2h_o^2}{4R_o^2}\right) \right].$$

Отже, кінцева залежність для визначення пропускної здатності очисника  $W_o$  з врахуванням (5.28), (5.38) має вигляд:

$$W_o \geq \frac{\lambda_o W_c \rho_k \varphi_k \left\{ D\sqrt{2h_o R_o - h_o^2} - \frac{\pi}{360} \left[ 0,5d^2 \sum_{i=1}^n \arccos\left(\frac{2h_{d_i}}{d} - 1\right) + R_o^2 Z \right] \right\}}{2q\sqrt{2h_o R_o - h_o^2}}. \quad (5.39)$$

або

$$W_o \geq n \lambda_p \lambda \rho_2 V_k \left\{ \frac{\pi}{12} D_k^2 N \left( \frac{\rho_1 k_k (h + D_k)}{\lambda_p \lambda \rho_2} - 1 \right) + [a + 2(1 \sin \alpha + \text{htg} \beta)] \cdot \left[ h \left( 1 - \frac{\text{htg} \beta}{[a + 2(1 \sin \alpha + \text{htg} \beta)]} \right) + 0,1 \left[ (U_g + 1) \lambda_p + \frac{0,08 U_g}{\lambda} \right] \right] \right\} \quad (5.40)$$

$$\frac{\lambda_o \rho_k \varphi_k}{2q \sqrt{2h_o R_o - h_o^2}} \left\{ D \sqrt{2h_o R_o - h_o^2} - \frac{\pi}{360} \left[ 0,5d^2 \sum_{i=1}^n \arccos \left( \frac{2h_{d_i}}{d} - 1 \right) + R_o^2 Z \right] \right\}$$

Отримані теоретичні залежності (5.39), (5.40) є розрахунковими математичними моделями, які характеризують взаємозв'язок необхідної пропускної здатності  $W_o$  комбінованого очисника та секундної подачі викопаного вороху  $W_c$ , або зміну  $W_o$  залежно від умов і швидкості руху КМ, конструктивних параметрів робочих органів вібраційного копача і очисника та агротехнічних характеристик коренеплодів цукрових буряків.

Дані математичні моделі регламентують технологічну працездатність роботи комбінованого очисника вороху коренеплодів, умова якої полягає у забезпеченні обробки вороху, який надходить на очисник без його “звантаження” на поздовжніх шнеках, або забезпечення умови  $W_o \geq W_c$ .

Даний постулат, або технологічну працездатність очисника виразимо через введений коефіцієнт технологічної працездатності очисника  $\eta_o$ , фізичну суть якого запишемо через відношення секундної подачі вороху  $W_c$  до необхідної пропускної здатності комбінованого очисника  $W_o$ , при цьому згідно з умови  $W_o \geq W_c$  коефіцієнт технологічної працездатності очисника  $\eta_o \leq 1$ .

Тоді згідно з (5.39) і умови  $W_o \geq W_c$  можна записати:

$$\eta_o = \frac{W_c}{W_o} = \frac{2q \sqrt{2h_o R_o - h_o^2}}{\lambda_o \rho_k \varphi_k \left\{ D \sqrt{2h_o R_o - h_o^2} - \frac{\pi}{360} \left[ 0,5d^2 \sum_{i=1}^n \arccos \left( \frac{2h_{d_i}}{d} - 1 \right) + 0,5R_o^2 Z \right] \right\}} \leq 1, \quad (5.41)$$

де  $\eta_o$  – коефіцієнт технологічної працездатності очисника.

Аналіз залежності (5.36) показує, що числове значення коефіцієнта технологічної працездатності очисника  $\eta_o$  залежить від багатьох складових конструктивних параметрів жолоба робочих русел очисника. Для проведення аналізу  $\eta_o$  необхідно встановити межі зміни наявних конструктивних параметрів жолоба робочого русла очисника.

Висота рифа  $h_p$  шнека (рис. 5.30) визначається із умови переміщення коренеплоду вздовж осей обертання шнеків під дією сил тертя в точці його контакту з рифом. Збільшення висоти рифа  $h_p$  забезпечує задовільне переміщення великих коренеплодів [8; 10; 25], однак при цьому збільшується зазор  $s_d$  між валами, що може привести до втрати дрібних коренеплодів. Крім того, коренеплоди цукрових буряків, при знаходженні на спіральних (шнекових) вальцях, займають положення, коли центр їх мас знаходиться в нижньому положенні, тоді згідно з [1; 2; 3; 4] для забезпечення транспортування матеріалу рифами вальців необхідна умова, щоб висота рифа була не менше 1/3 усередненого діаметра головки коренеплоду  $D_k$ , тобто  $h_p \geq 1/3 D_k$ . Згідно з даними [31; 32; 33; 34; 35]  $D_k \cong 0,08 \dots 0,1$  м. Тоді приймаємо висоту рифа шнека  $h_p = 0,03$  м.

Діаметр труби вала шнека  $d$  приймаємо з конструктивних міркувань за умови ненамотування рослинних решток на його поверхню, при цьому згідно з дослідженнями [9; 26]  $d \geq 0,12$  м. Тоді мінімальне значення діаметра шнека комбінованого очисника повинно становити:  $D = 0,12 + 2 \cdot 0,03 = 0,18$  м.

Для визначення  $R_o$  скористаємося таблицями, які наведені в [20]. Згідно з ними  $R_o$  можна визначити залежно від числового значення довжини  $l_{O_1CO_4}$  дуги  $O_1CO_4$  сегмента  $O_1O_4CO_1$ , яка

змінюється залежно від діаметра шнеків  $D$ , зазору  $c_d$  між валами суміжних шнеків і кількості робочих русел  $k$ , при цьому в першому наближенні можна записати, що довжина дуги  $l_{O,CO_4} \cong k(D + c_d)$ .

Зазор  $c_d$ , як правило, обмежують умовою  $c_d \leq 50$  мм, враховуючи, що коренеплоди цукрових буряків  $D_k \leq 50$  мм є некондиційними [1; 3] і можуть бути втрачені на очиснику, тобто приймаємо  $c_d = 0,05$  м. Тоді, для умови, що  $k = 3$  (рис. 5.33)  $l_{O,CO_4} \cong 0,69$  м. За таблицями [20] знаходимо, що  $R_o \cong 0,75$  м;  $h_o \cong 0,1$  м.

На рис. 5.31 наведено поверхню та двомірний переріз поверхні залежності коефіцієнта технологічної працездатності очисника  $\eta_o$  від зміни діаметра шнека  $D$  та коефіцієнта заповнення жолоба русел  $\varphi_k$  очисника як функції  $\eta_o = f(D, \varphi_k) \leq 1$  при  $\lambda_o = 0,5$ ;  $q = 25$  кг/м<sup>2</sup> [1; 19], на рис. 5.32 – від зміни діаметра шнека  $D$  та маси вороху  $q$  як функції  $\eta_o = f(D, q) \leq 1$  при  $\lambda_o = 0,5$ ;  $\varphi_k = 0,7$ . Просторові діаграмні графіки зміни залежностей  $\eta_o = f(D, \varphi_k) \leq 1$  і  $\eta_o = f(D, q) \leq 1$  наведено на рис. 5.33.

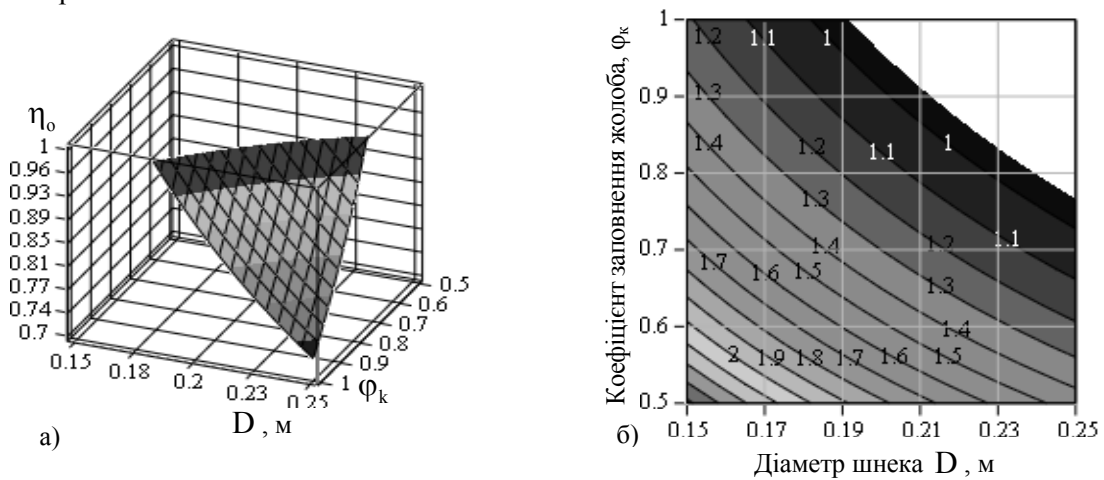


Рис. 5.31. Залежність коефіцієнта технологічної працездатності очисника  $\eta_o = f(D, \varphi_k) \leq 1$ : а) поверхня залежності; б) двомірний переріз поверхні

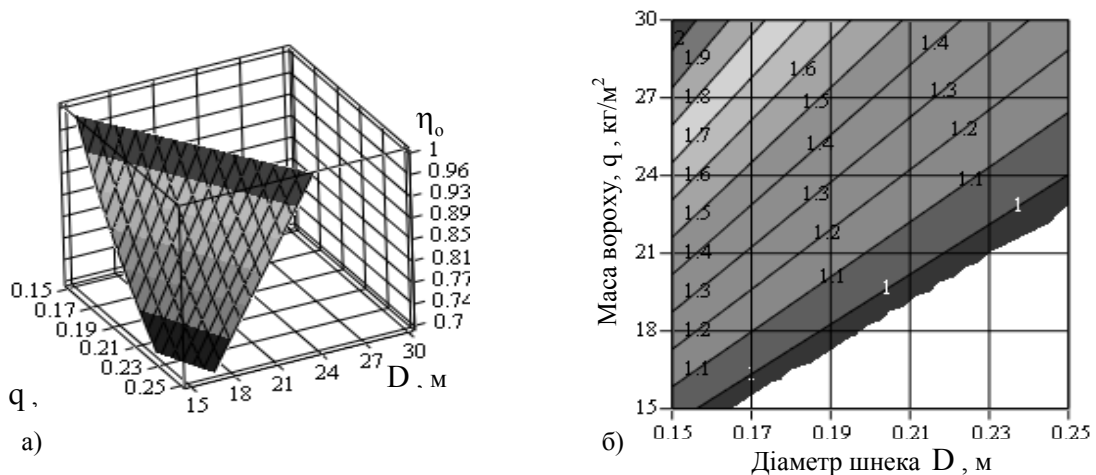


Рис. 5.32. Залежність коефіцієнта технологічної працездатності очисника  $\eta_o = f(D, q) \leq 1$ : а) поверхня залежності; б) двомірний переріз поверхні

Джерело: розрахунки автора

Аналіз поверхонь та їх двомірних перерізів (рис. 5.31) показує, що умова  $\eta_o \leq 1$  забезпечується для зміни діаметра шнека в межах  $0,18 \leq D \leq 0,25$  м і відповідних їм межах зміни коефіцієнта заповнення простору жолоба русла комбінованого очисника  $0,75 \leq \varphi_k \leq 1,0$  та значеннях коефіцієнта

сепарації домішок очисником  $\lambda_o = 0,5$  і питомої маси вороху коренеплодів  $q = 25 \text{ кг/м}^2$ , що також підтверджується аналізом залежностей, які наведено на рис. 5.33 а), (криві  $\eta_6(D)$ ,  $\eta_7(D)$ ) та просторова діаграма. Зміна  $\eta_o$  залежно від коефіцієнта сепарації  $\phi_k$  вороху на його шляху до очисника та коефіцієнта сепарації домішок очисником  $\lambda_o$  має характер зворотнопропорційної функції, а умова критерію  $\eta_o \leq 1$  забезпечується при  $\lambda_o \geq 0,5$  для  $D \geq 0,19 \text{ м}$ .

Залежно від зміни маси вороху коренеплодів  $q$ , розміщених в один шар, умова критерію  $\eta_o \leq 1$  (рис. 5.31) виконується для  $0,15 \leq D \leq 0,25 \text{ м}$  та відповідних значеннях  $15 \leq q \leq 23 \text{ кг/м}^2$ , що також підтверджується аналізом залежностей, які наведено на рис. 5.33 б) (криві  $\eta_7(D) - \eta_9(D)$ ).

Отже, для встановленого згідно з конструктивними міркуваннями мінімально можливого діаметра шнеків комбінованого очисника вороху коренеплодів на рівні  $D = 0,18 \text{ м}$ , умова  $\eta_o \leq 1$  (забезпечення технологічної працездатності роботи) виконується для  $\phi_k \geq 0,9$ ;  $\lambda_o \geq 0,5$  при  $q \leq 18 \text{ кг/м}^2$ .

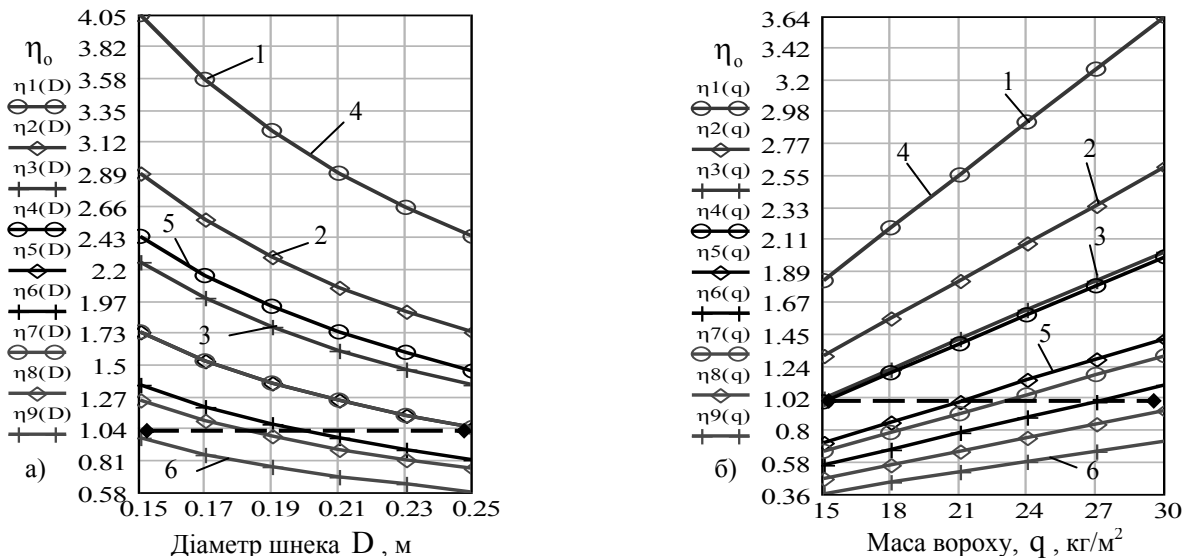


Рис. 5.33. Залежність коефіцієнта технологічної працездатності очисника  $\eta_o$  від зміни: а) діаметра шнека  $D$ ; б) маси вороху  $q$ ; 1, 2, 3 – при  $\phi_k = 0,5; 0,7; 0,9$ ; 4, 5, 6 – при  $\lambda_o = 0,3; 0,5; 0,7$ ;  $\eta_1(q) - \eta_3(q) - D = 0,2 \text{ м}$ ;  $\eta_4(q) - \eta_6(q) - D = 0,22 \text{ м}$ ;  $\eta_7(q) - \eta_9(q) - D = 0,24 \text{ м}$

Джерело: розрахунки автора

Продуктивність одного гвинтового конвеєра  $Q_k$  згідно з (5.26) та [4; 5] визначається за залежністю:

$$Q_k = 0,25\pi\phi_k V_{nc}\gamma_G(D^2 - d^2). \quad (5.42)$$

Середню швидкість  $V_{nc}$  осьового переміщення вантажу шнеками доцільно визначати через поправочний коефіцієнт, який враховує зниження теоретичної швидкості осьового переміщення рифів шнека [6; 9; 14; 23; 24; 27], тобто у нашому випадку, враховуючи прийняте раніше припущення, що  $\gamma_G \cong \rho_k$ , продуктивність комбінованого очисника вороху  $Q_o$  буде визначатися:

$$Q_o = 0,25\pi\phi_k V_m k_v \rho_k k(D^2 - d^2), \quad (5.43)$$

де  $V_m$  – теоретична швидкість осьового переміщення рифів шнека, м/с;

$k_v$  – коефіцієнт, який враховує зниження швидкості осьового переміщення вороху відносно теоретичної.

Підставивши значення  $V_m = T\omega/2\pi$  [23; 36], де  $T$  – крок гвинтової лінії, м;  $\omega$  – кутова швидкість шнека (рад/с), при цьому  $\omega = d\phi/dt$ , де  $\phi$  – кут повороту шнека (рад) у залежності (5.43) одержано:



$$\frac{dQ_o}{dt} - \frac{dW_c}{dt} = 0,125\varphi_k T k_v \rho_k k (D^2 - d^2) \left( \frac{d\varphi}{dt} \right) - \left. - n_k \lambda_p \lambda \rho_2 \left( \frac{dS}{dt} \right) \left\{ \begin{array}{l} \frac{\pi}{12} D_k^2 N \left( \frac{\rho_1 k_k (h + D_k)}{\lambda_p \lambda \rho_2} - 1 \right) + [a + 2(l \sin \alpha + htg\beta)] \cdot \\ \left[ h \left( 1 - \frac{htg\beta}{[a + 2(l \sin \alpha + htg\beta)]} \right) + 0,1 \left[ (U_g + 1) \lambda_p + \frac{0,08 U_g}{\lambda} \right] \right] \right\} \geq 0 \right\} \quad (5.44)$$

або в спрощеному вигляді для практичного використання:

$$0,125\varphi_k T k_v \rho_k k (D^2 - d^2) \left( \frac{d\varphi}{dt} \right) - W_c \geq 0. \quad (5.45)$$

Одержана залежність (5.44) є розрахунковою математичною моделлю, яка характеризує взаємозв'язок технологічної подачі викопаного вороху коренеплодів до шнеків комбінованого очисника, зокрема зміни пропускної здатності очисника з необхідною продуктивністю жолоба робочих русел залежно від конструктивних параметрів лемешів вібраційного копача, агробіологічних характеристик насаджень коренеплодів, експлуатаційних умов роботи КМ та конструктивно-кінематичних параметрів очисника.

Тоді мінімальна межа кутової швидкості шнека  $d\varphi_{\min}/dt$ , яка забезпечує необхідну продуктивність жолоба робочих русел комбінованого очисника буде визначатися за залежністю:

$$\frac{d\varphi_{\min}}{dt} \geq \frac{4W_c}{\pi D \varphi_k k_v \rho_k \operatorname{tg}(45^\circ - 0,5\alpha_k) k (D^2 - d^2)}, \quad (5.46)$$

де  $T = \pi D \operatorname{tg}\beta_c$ ,  $\beta_c$  – кут підймання гвинтової лінії спіральної навивки рифів шнека, град.;

$\beta_c = 45^\circ - 0,5\alpha_k$ ,  $\alpha_k$  – кут тертя ковзання матеріалу по гвинтовій поверхні рифа шнека, град.

Для практичного використання, доцільно кутову швидкість  $\omega$  виразити через частоту обертання шнека.

Враховуючи, що  $\omega = \pi n / 30$  [24], де  $n$  – частота обертання шнека (об/хв), мінімальна межа частоти обертання шнека  $n_{\min}$ , яка забезпечує необхідну продуктивність жолоба робочих русел визначається за залежністю:

$$n_{\min} \geq \frac{120W_c}{\pi^2 D \varphi_k k_v \rho_k \operatorname{tg}(45^\circ - 0,5\alpha_k) k (D^2 - d^2)}. \quad (5.47)$$

Підставивши визначені вище значення  $V_p$  у залежність (5.43) одержано залежність для визначення необхідної продуктивності жолоба робочих русел комбінованого очисника:

$$Q_o = 0,125\pi^2 D \varphi_k \frac{n}{30} k_v \rho_k \operatorname{tg}(45^\circ - 0,5\alpha_k) k (D^2 - d^2) \geq W_c. \quad (5.48)$$

Згідно з (5.47) побудовано поверхню та її двомірний переріз залежності зміни мінімальної частоти обертання шнека комбінованого очисника як функціонала  $n_{\min} = f(D, W_c)$  (рис. 5.34) при  $\alpha_k = 35,2$  град. [28], коефіцієнта заповнення простору жолоба робочих русел очисника  $\varphi_k = 1$ ,  $k_v = 0,7$  [23; 24],  $k = 2$ ,  $V_k = 1,6$  м/с.

Зміна мінімальної частоти обертання шнека  $n_{\min}$  залежно від секундної подачі вороху коренеплодів  $W_c$  описується лінійною функцією та носить прямопропорційний характер (рис. 5.35 а).

Основні значення  $n_{\min}$  знаходяться в межах  $n_{\min} = 130 \dots 450$  об/хв для відповідної зміни секундної подачі домішок  $W_c = 70 \dots 160$  кг/с, а задана необхідна пропускна здатність очисника, наприклад,  $W_c = 95$  кг/с забезпечується при значенні  $n_{\min} = 185$  об/хв для  $D = 0,22$  м (рис. 5.34).

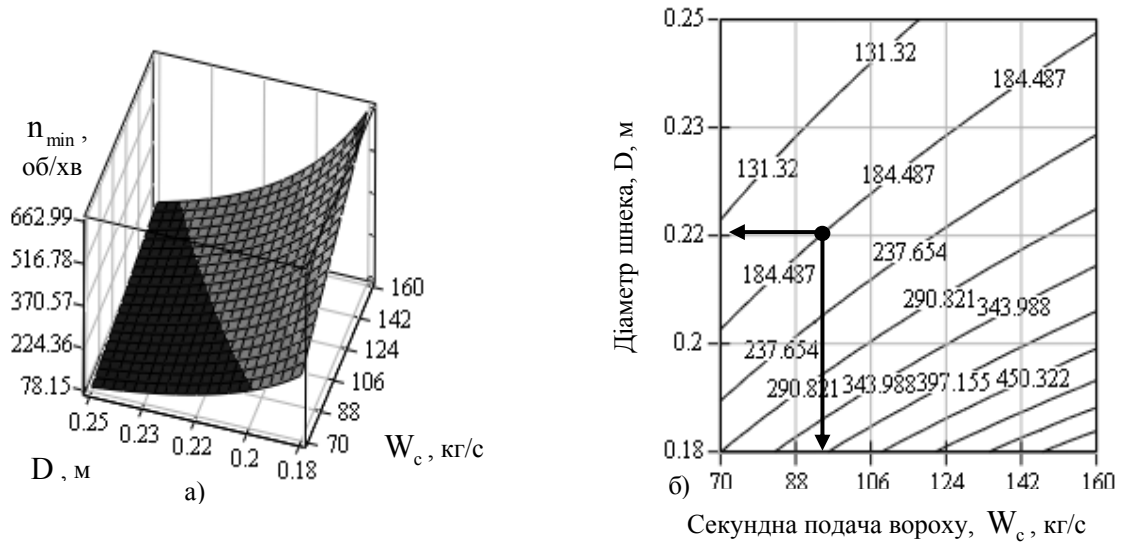


Рис. 5.34. Залежність частоти обертання шнека очисника  $n_{min} = f(D, W_c)$ :  
а) поверхня залежності; б) двомірний переріз поверхні

Джерело: розрахунки автора

Для визначення необхідної продуктивності комбінованої очисної системи згідно з (5.48) побудовано поверхню залежності зміни продуктивності комбінованого очисника за умови  $Q_0 \geq 30$  кг/с від діаметра шнека  $D$  та частоти обертання шнека  $n$  (рис. 5.35) межі зміни яких встановлено згідно з проведеним аналізом відповідних залежностей (5.42) і (5.46) при  $k = 2$ ,  $k_v = 0,7$  [23; 24],  $\alpha_k = 35,2$  град. [28].

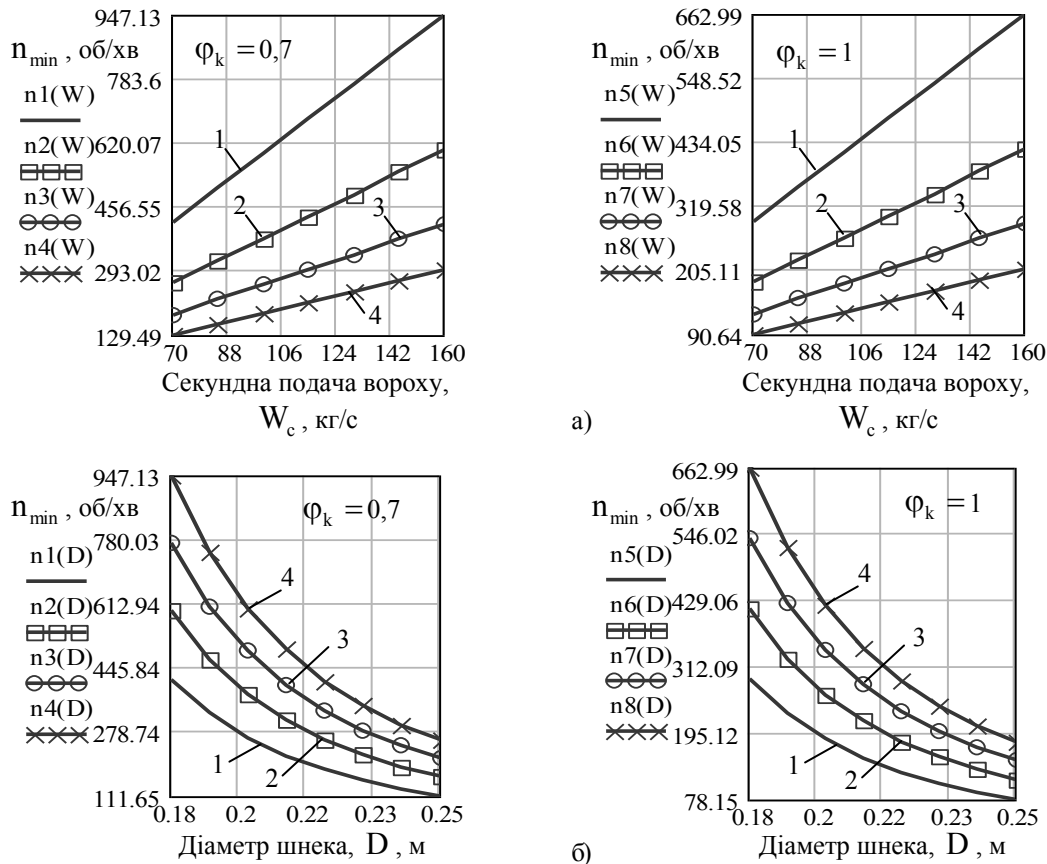


Рис. 5.35. Залежність частоти обертання шнека очисника:  
а)  $n_{min} = f(W_c)$ ; 1, 2, 3, 4 – при  $D = 0,18; 0,2; 0,22; 0,24$  (м);  
б)  $n_{min} = f(D)$ ; 1, 2, 3, 4 – при  $W_c = 70; 100; 130; 160$  (кг/с)

Джерело: розрахунки автора

Аналіз наведених поверхонь показує, що максимальна продуктивність комбінованого очисника  $Q_0$  становить від 70 до 150 кг/с залежно від коефіцієнта заповнення простору жолоба робочого русла очисника  $\varphi_k$  та забезпечує мінімальну секундну подачу вороху  $W_c = 50$  кг/с при наступних конструктивно-кінематичних параметрах шнека (рис. 5.36):

- для значення коефіцієнта заповнення простору жолоба робочого русла очисника  $\varphi_k = 0,5$  при  $D \geq 0,22$  м і  $n \geq 440$  об/хв;
- для значення коефіцієнта заповнення простору жолоба робочого русла очисника  $\varphi_k = 0,7$  при  $D \geq 0,21$  м і  $n \geq 320$  об/хв;
- для значення коефіцієнта заповнення простору жолоба робочого русла очисника  $\varphi_k = 1,0$  при  $D \geq 0,19$  м і  $n \geq 210$  об/хв.

На рис. 5.37 наведено номограму для визначення частоти обертання та діаметра шнека комбінованого очисника згідно з умови  $Q_0 \geq 50$  кг/с.

Використовують номограму наступним чином.

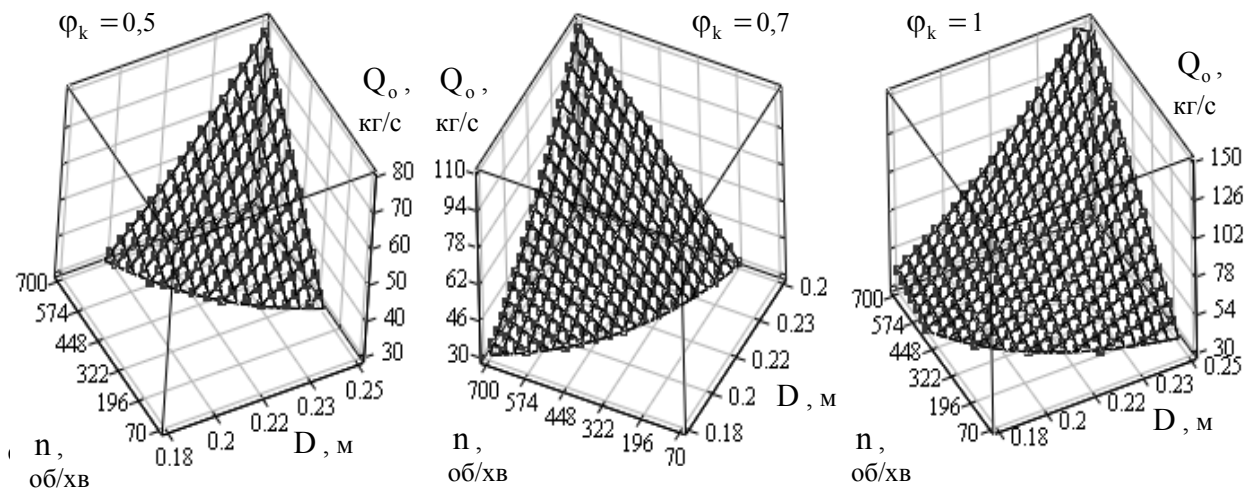


Рис. 5.36. Поверхня залежності продуктивності комбінованого очисника як функціонала  $Q_0 = f(D, n) \geq 30$  кг/с

Джерело: розрахунки автора

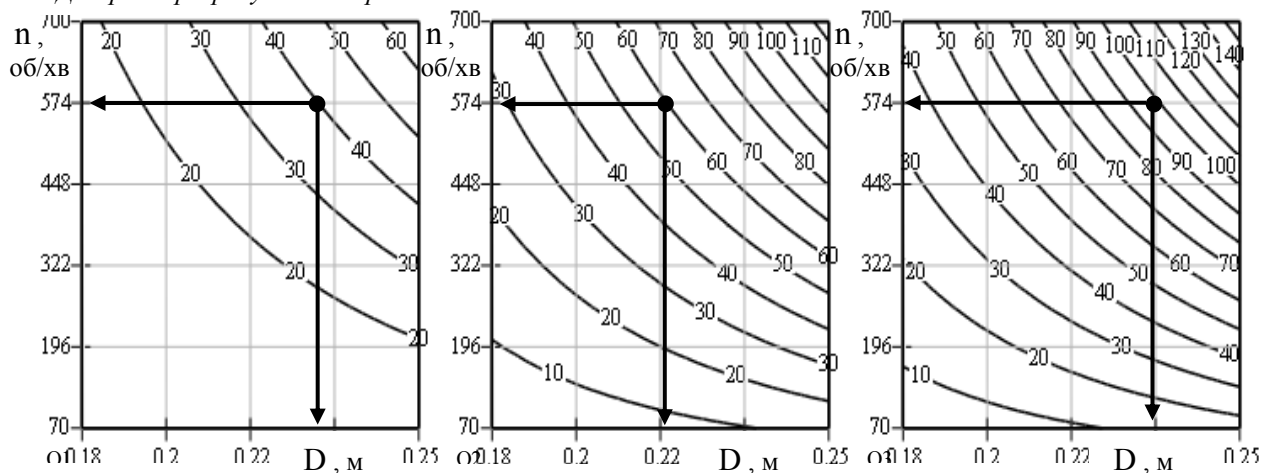


Рис. 5.37. Номограма для визначення частоти обертання  $n$  та діаметра шнека  $D$  очисника: а), б), в) –  $\varphi_k = 0, 5; 0,7; 1$

Джерело: розрахунки автора

При заданій секундній подачі вороху коренеплодів до комбінованого очисника, наприклад  $W_c = 40$  кг/с та значенні коефіцієнта заповнення простору жолоба робочого русла очисника  $\varphi_k = 0,5$

діаметр шнека становить  $D = 0,23$  м, а частота обертання шнека –  $n = 574$  об/хв. При  $\varphi_k = 0,7$ , і  $W_c = 60$  кг/с параметри шнека повинні бути:  $D = 0,22$  м;  $n = 574$  об/хв, а при  $\varphi_k = 1,0$  і  $W_c = 100$  кг/с –  $D = 0,23$  м,  $n = 574$  об/хв.

Загальна тенденція зміни продуктивності комбінованого очисника  $Q_o$  від діаметра шнека  $D$  при встановлених межах зміни мінімальної частоти обертання шнека  $n_{\min}$  характеризується графічними залежностями (рис. 5.38).

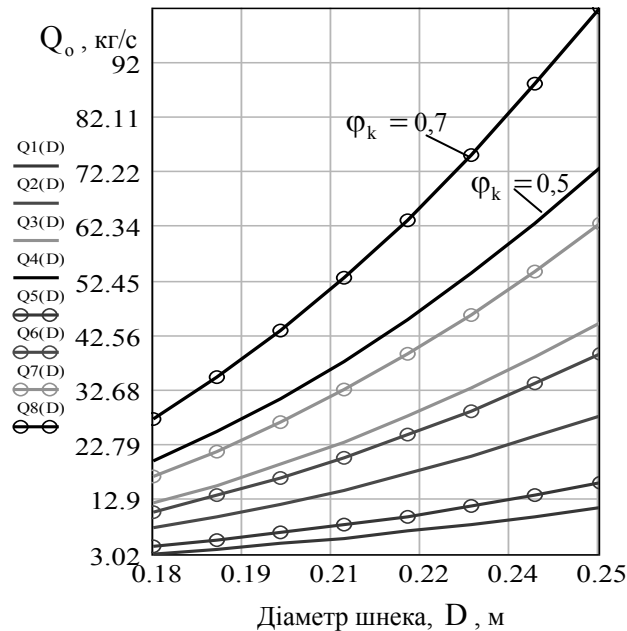


Рис. 5.38. Залежності зміни продуктивності очисника від діаметра шнека:  $Q_1(D)$  і  $Q_5(D)$ ,  $Q_2(D)$  і  $Q_6(D)$ ,  $Q_3(D)$  і  $Q_7(D)$ ,  $Q_4(D)$  і  $Q_9(D)$  – відповідно, при  $n_{\min} = 100, 250, 400, 650$  об/хв

*Джерело: розрахунки автора*

Отже, на основі проведеного теоретичного аналізу можна констатувати, що для зменшення енергетичних витрат очисника приймаємо наступні значення конструктивно-кінематичних параметрів: діаметр шнеків  $D = 0,18 \dots 0,24$  м; частота обертання шнеків  $n = 150 \dots 650$  об/хв.

## 5.6. Традиційні тверді біопалива

© Клименко В. В.

*д.т.н., професор, Центральноукраїнський  
національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна*

© Кравченко В. І.

*к.т.н., доцент, Центральноукраїнський  
національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна*

© Боков В. М.

*к.т.н., професор, Центральноукраїнський  
національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна*

© Сіса О. Ф.

*к.т.н., доцент, Центральноукраїнський  
національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна*

Біомаса є вагомою складовою відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) і має значний потенціал, доступний для енергетичного використання. Шляхом залучення цього потенціалу до виробництва енергії в найближчій перспективі можна задовольнити 13–15 % потреби держави у первинній енергії [4]. Але за обсягами енергетичного споживання біомаси Україна суттєво відстає від багатьох розвинених країн світу. Так, згідно енергетичного балансу України за 2013 р., частка біомаси у валовому кінцевому енергоспоживанні становила 2,28 %, що складає всього 3 % від усіх ВДЕ.

Така ситуація суттєво зменшує енергетичну безпеку і стійкість населених пунктів до впливу техногенного, кліматичного і військового характеру. Тому дослідження та розробки, направлені на розширення бази застосування біомаси в усіх галузях промисловості і сільського господарства, удосконалення технологій виготовлення біопалива, зокрема з твердих рослинних відходів та композитів на їх основі, є актуальними для вирішення завдань заміщення первинних джерел енергії альтернативними видами палива і важливими для забезпечення енергетичної безпеки України.

Основними складовими потенціалу біомаси в Україні крім деревини є первинні агровідходи: солома, відходи виробництва кукурудзи на зерно і соняшника, які залишаються на полях як побічні продукти після збору врожаю первинних сільськогосподарських культур та енергетичні культури, вирощування яких у промислових масштабах активно розвивається в країні останніми роками. Таку біомасу можна використовувати в енергетичних цілях безпосередньо або виробленої з неї твердих, рідких та газоподібних біопалив (рис. 5.39).

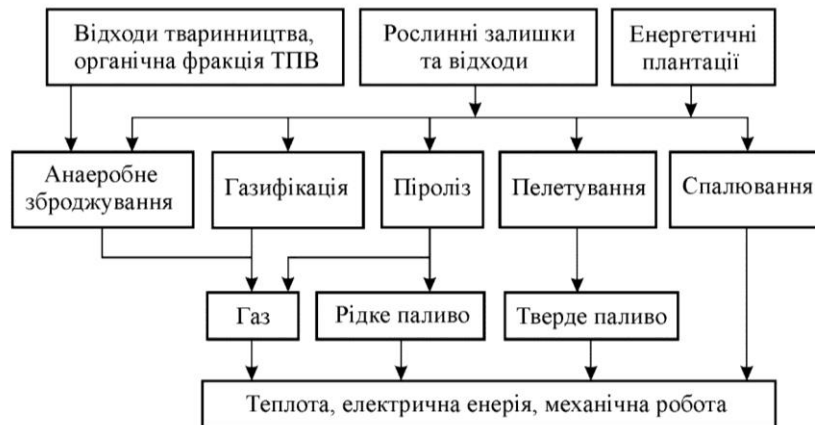


Рис. 5.39. Способи виробництва енергії з біомаси

Джерело: [4]

Альтернативою традиційним твердим рослинним відходам (ТРВ) з деревини, соломи, лушпиння соняшника тощо, що традиційно використовується у насипному стані, є пелети і брикети, теплота згоряння яких на одиницю об'єму суттєво вище. Додатковою перевагою такого палива в умовах експлуатації є зручність його транспортування, спрощення механізованої подачі до енергетичних установок та підтримання необхідних режимів процесу горіння. Вартість пелет і брикетів не корелюється напряму зі зростанням цін на викопні види палива і з підвищенням екологічних податків.

Але обмежений ресурс традиційних твердих рослинних відходів, нерівномірний їх територіальний розподіл, викликаний різними кліматичними умовами та економічними можливостями регіональних структур господарювання, обґрунтовує доцільність пошуку додаткових альтернативних ресурсів для виготовлення пелет та брикетів.

### 5.7. Альтернативні біопаливні матеріали: опале листя та композити на основі твердих рослинних відходів

© Клименко В. В.

*д.т.н., професор, Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна*

© Кравченко В. І.

*к.т.н., доцент, Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна*

© Боков В. М.

*к.т.н., професор, Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна*

© Сіса О. Ф.

*к.т.н., доцент, Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна*

Відомо, що на території населених пунктів існує проблема збирання і утилізації опалого листя. Часто таке листя нагромаджується в окремі купи і спалюється в умовах недостатньої подачі повітря з виділенням великої кількості шкідливих речовин: пил, окис азоту, чадний газ, діоксин, важкі метали, низка канцерогенних сполук [25].

Наразі опале листя, зібране на території міст, найбільш часто транспортується для зберігання на сміттєзвалищах. При зберіганні листя розкладається з викидом в атмосферу метану, парниковий ефект від якого перевищує аналогічний від викидів вуглекислого газу більше, ніж у двадцять разів [8].

У Великобританії розроблено технологію виготовлення полінів з опалого листя і домішок воску (30 % по масі) [1], що мають теплоту згоряння, близьку до теплоти згоряння вугілля, але і досить високу вартість.

На основі попередньо проведеного аналізу, при застосуванні обґрунтованої технології пресування можливе виготовлення пелет та брикетів з опалого листя як альтернативної сировини без додаткових домішок [1].

Підвищити ефективність та безпечно використання опалого листя та різних видів твердих рослинних відходів для виробництва біопалива можна шляхом попереднього їх змішування та приготування композитів, що включають місцеві види палива: буре вугілля, сланці, торф тощо; вуглецевмісні тверді побутові відходи (ТПВ) деревини, текстилю, гуми, полімерних виробів тощо. При цьому можна очікувати досягнення синергетичного ефекту внаслідок більш ефективного використання ресурсу біомаси, підвищення теплоти згоряння та часткового зменшення негативного впливу на довкілля внаслідок утилізації відходів. Наприклад, безпечний режим термогенерації може бути забезпечений при вмісті полімерних матеріалів у суміші з рослинними відходами до 20 % [19].

Таке паливо у вигляді пелет або брикетів може використовуватись у всіх видах топок, в котлах будь-якої потужності – від опалення приватних будинків до великих ТЕЦ.

Також, використовуючи в технологіях термічної генерації композитне паливо у вигляді пелет, можна уникнути негативних сторін сумісного спалювання рослинних відходів у вигляді сипкої сировини і твердого місцевого палива або ТПВ, таких, як [8]:

- невідповідна швидкість подачі сипкої сировини і твердого місцевого палива або ТПВ до камери згоряння;

- неоднорідний характер горіння у камері згоряння;

- нерівномірність теплових навантажень поверхонь опалювальних елементів енергетичної установки;

- велика різниця у фізико-хімічних властивостях рослинних відходів та інших компонентів палива (густина, вологість), що визначають вибір технологічних рішень по забезпеченню їх сушки, розмелу тощо.

Отже, вивчення умов виготовлення композитного палива на основі рослинних відходів з використанням опалого листя, ТПВ та місцевих видів палива є актуальним.

### **5.8. Експериментальні дослідження виготовлення пелет з опалого листя у відкриту матрицю**

© **Клименко В. В.**

*д.т.н., професор, Центральноукраїнський  
національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна*

© **Кравченко В. І.**

*к.т.н., доцент, Центральноукраїнський  
національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна*

© **Боков В. М.**

*к.т.н., професор, Центральноукраїнський  
національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна*

© **Сіса О. Ф.**

*к.т.н., доцент, Центральноукраїнський  
національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна*

Дослідження виготовлення пелет з опалого листя у відкриту матрицю методом екструзії здійснювали з використанням універсальної випробувальної машини УВП-50, робоча частина якої показана на рис. 5.40 та спеціально виготовленого пресового пристрою (рис. 5.41). УВП-50 може забезпечити максимальне навантаження 500 кН.

Пресовий пристрій (рис. 5.41) складався з наступних основних елементів: пуансона 1 для пресування і екструзії; корпус-матриці 2; комплекту змінних матриць, що використовувались для виготовлення пелет з рослинних відходів та опалого листя клену 3, 4, 5, 6, 7, 8 (рис. 5.42), які дозволяли дискретно змінювати фактори  $h$  (15, 25, 35 мм) та  $\alpha$  (60°, 90°, 120°).

При експериментальних дослідженнях виготовлення пелет з опалого листя клену застосовувалася наступна технологічна послідовність:

- збір листя, відокремлення від них металевих та сторонніх предметів;
- здрібнення листя з використанням шнекового здрібнювача;
- підсушування або зволоження листя;
- екструзія листя через відкриту матрицю.

Осіне опале листя неоднорідне за ступенем зів'янення та структурою, що характеризується, наприклад, пласкою пеленою, товщина якої не перевищує 0,1 мм і твердістю ніжкою, діаметр якої досягає 2 мм. Тому для утворення більш міцної структури пелет за рахунок утворення однорідної маси сировини перед пресуванням, осіне листя піддавали здрібненню, зокрема з використанням шнекового подрібнювача, що також забезпечило підвищення їх густини.



Рис. 5.40. Робоча частина універсальної випробувальної машини УВП-50 з встановленим пресовим пристроєм

Джерело: авторська розробка

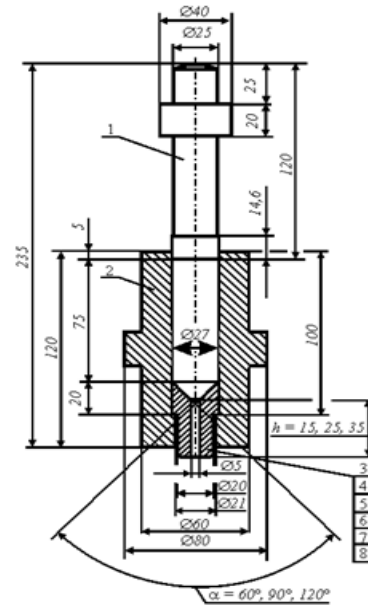


Рис. 5.41. Пресовий пристрій

Вологість сировини вимірювалась за стандартною методикою [5], густина зразків біопалива визначалась за допомогою електронних вагів з ціною поділу  $1 \cdot 10^{-5}$  кг.

Екструзія пелет з опалого листя відбувалась шляхом встановлення у робочу порожнину корпус-матриці 2 (рис. 5.41) певної змінної матриці, завантаження попередньо здрібненої біосировини, введення у корпус пуансона 1 та закріплення зібраного пресового пристрою на випробувальній машині УВП-50 з наступним навантаженням. При стисненні біосировини відбувалась її екструзія із циліндричного отвору філь'ери змінної матриці діаметром 5 мм у вигляді пелет. Утворені пелети накопичувались у піддоні, який встановлювався під штампом. Зусилля екструзії пелет записувались на паперовий носій.

Для встановлення умов проведення процесу екструзії сировини з опалого листя клену, на підставі апріорної інформації було вибрано фактори, що впливають на густину виготовлених пелет: довжина матриці  $h$  ( $X_1$ ), мм; та кут матриці на вході біосировини до її конусної частини  $\alpha$  ( $X_2$ ), град (рис. 5.42). Решта параметрів процесу були зафіксовані на постійних рівнях: вхідний діаметр матриці  $D = 27$  мм, циліндричний діаметр філь'ери матриці  $d = 5$  мм.

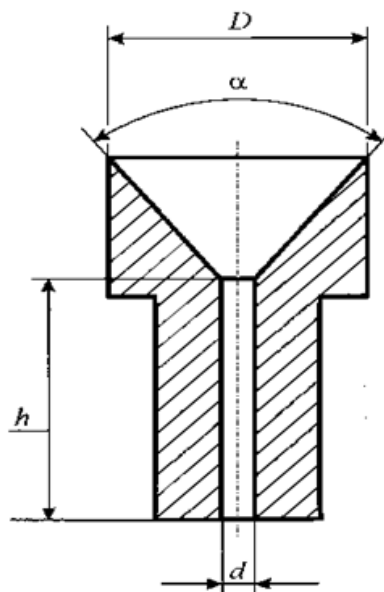


Рис. 5.42. Змінні матриці для екструзії пелет

Джерело: авторська розробка

При проведенні експериментів фіксували зусилля екструзії. Після одержання зразків пелет визначали їх густину.

У результаті проведення повного факторного експерименту було побудовано рівняння регресії виду:  

$$Y = 1,247 + 0,0275x_1 - 0,0325x_2.$$

Аналіз отриманої математичної моделі показує, що найбільший вплив на густину пелет  $\rho_{\text{мок}}$  має кут матриці на вході здрібненого листа в матрицю  $\alpha$ , із зменшенням якого густина збільшується (рис. 5.43). Отже, кут  $\alpha$  можна розглядати як основний керуючий фактор. Вплив довжини робочого вікна матриці для прямого видавлювання  $h$  на  $\rho_{\text{мок}}$  дещо менший, але також має суттєве значення. З його підвищенням густина пелет збільшується.

Представлена залежність  $\rho_{\text{мок}} = f(\alpha, h)$  показує вплив чинників на густину пелет у вибраному факторному просторі їх зміни (рис. 5.43). В рамках експерименту густина пелет  $\rho_{\text{мок}}$  (рис. 5.44) змінювалася у межах від 1,19 до 1,3 г/см<sup>3</sup>, що приблизно в 1,3 ... 1,4 рази перевищує густину листа після здрібнення та попереднього ущільнення ( $\rho_{\text{м}} = 0,92$  г/см<sup>3</sup>). Останнє обґрунтовує доцільність використання метода екструзії для виготовлення щільних пелет з опалого листа на пресах з вертикальним рухом пуансона.

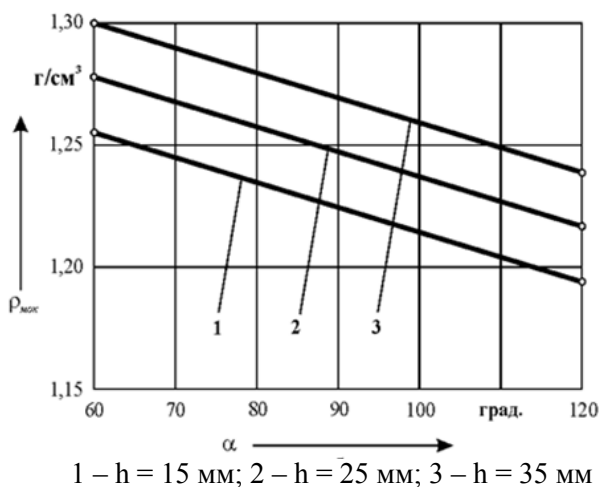


Рис. 5.43. Залежність густини  $\rho_{\text{мок}}$  пелет з опалого листа клену після екструзії від  $\alpha$  і  $h$   
*Джерело: авторська розробка*



Рис. 5.44. Вид зразка пелет з опалого листа клену після екструзії

В результаті аналізу фіксованого зусилля екструзії пелет  $P$  при постійній (середній) довжині робочого вікна  $h$ , отримано графічну залежність  $P$  від кута матриці  $\alpha$  на вході здрібненого листа в матрицю (рис. 5.45).

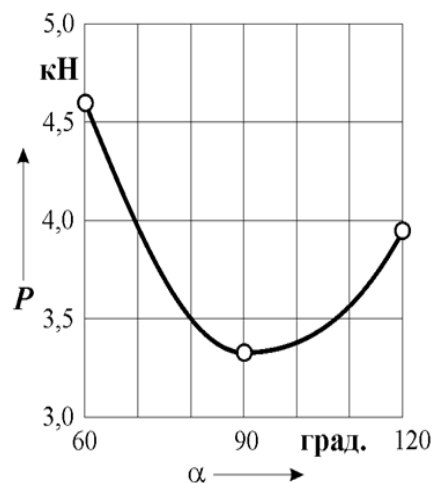


Рис. 5.45. Залежність зусилля екструзії пелет  $P$  від кута  $\alpha$  матриці  
*Джерело: авторська розробка*

Аналіз цієї залежності свідчить, що при  $\alpha = 90^\circ$  вона має екстремум, який визначає найменше зусилля при екструзії пелет. На основі результатів цих досліджень оформлено патент України на корисну модель № 86540 UA [16].



До певних значень підвищений вміст вологи в опалому листі позитивно впливає як на процес формування пелети, так і на її екструзію, оскільки вона виконує роль поверхнево-активного компонента, який покращує зв'язування частинок сировинного матеріалу та є змащувальною речовиною, поліпшуючи екструзію зразків пелет.

Але досвід виготовлення пелет з рослинних відходів вологістю понад 14 % показує, що після їх підсушування таке біопаливо стає крихким і не придатним для транспортування [22]. Тому перед пресуванням біосировину з підвищеною вологістю потрібно підсушувати.

### 5.9. Експериментальне дослідження виготовлення біопалива з опалого листя, рослинних відходів та композитів на їх основі в закритій матриці

© Клименко В. В.

*д.т.н., професор, Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна*

© Кравченко В. І.

*к.т.н., доцент, Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна*

© Боков В. М.

*к.т.н., професор, Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна*

© Сіса О. Ф.

*к.т.н., доцент, Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна*

Для виготовлення пелет шляхом пресування у закриту матрицю використовувалась сировина у вигляді соломи, тирси, опалого листя, побутові відходи від тари з ПЕТФ, що зазвичай застосовується для пакування води і газованих напоїв, а також буре вугілля [7]. Фракційний склад сировини, що використовувалась в експериментах, наведено у табл. 5.8.

Таблиця 5.8

**Фракційний склад сировини, що використовувалась в експериментах**

Сировина	Солома	Тирса	Опале листя	ПЕТФ	Буре вугілля
Фракційний склад, мм	1 ... 4	0,1 ... 1,0	0,1 ... 1,0	2 ... 6	0,1 ... 1,0 (80 %) 1,0 ... 3,0 (10 %) 3,0 ... 5,0 (10 %)

*Джерело: авторська розробка*

Для проведення експериментальних досліджень застосовувалась універсальна випробувальна машина УВП-50, описана вище і модернізований пресовий пристрій (рис. 5.46).

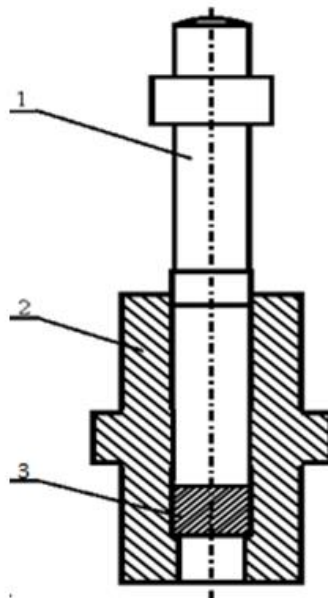


Рис. 5.46. Пресовий пристрій для виготовлення пелет у закритій матриці

*Джерело: авторська розробка*

Пресовий пристрій складається з пуансона 1, корпусу-матриці 2 (внутрішній діаметр 27 мм) та упору 3, що встановлюється в нижній частині корпусу-матриці.

Пресування біосировини зі здрібненого листа клену у закритій матриці досліджувалося з метою визначення оптимального тиску для утворення пелет без додавання домішок та порівняння густини пелет, отриманих у відкритій та закритій матрицях.

Методика експериментальних досліджень виготовлення пелет у закритій матриці була аналогічною, що застосовувалась для пелетоутворення у відкритій матриці. При стисненні сировини фіксувалось значення зусилля пресування. Після досягнення планованого тиску пресування сировини і утворення сформованого зразка біопалива, навантаження знімалось, зразок виймався і визначались його густина та міцність, вивчалися та аналізувалися фрактографії поверхні.

Вимірювання твердості біопалива оцінювалось згідно рекомендацій, приведених в роботі [11]. Зразок біопалива, що випробувався, навантажувался дією сили 1000 Н на протязі 10 с через сталеву кульку діаметром 10 мм, встановлену на поверхні зразка. За діаметром відбитку лунки на поверхні після втискування кульки визначали твердість зразка за Брінелем згідно виразу:

$$HB = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}, \quad (5.49)$$

де  $P$  – навантаження на поверхню зразка;

$D$  – діаметр кульки;

$d$  – діаметр відбитку лунки.

Для випробування зразків пелет на горіння був розроблений пристрій, основою якого є металева пластина з центральним отвором. Симетрично та радіально відносно центрального отвору розкладалися одночасно п'ять зразків пелет з різною густиною. Спиртовий пальник запалювали знизу по центру отвору, фіксували певний час горіння, після чого пальник гасили та вимірювали залишкову масу кожного зразка.

За показники інтенсивності горіння зразка приймалися [1]:

– коефіцієнт зменшення маси  $\lambda_{\sigma}$ , що відповідає долі (у відсотках) маси, яка втрачена під час примусового горіння протягом часу  $t$ :

$$\lambda_{\sigma} = \frac{(m_d - m_n) \cdot 100}{m_d} = \frac{\Delta m \cdot 100}{m_d}, \quad (5.50)$$

де  $m_d$ ,  $m_n$  – маса пелети, відповідно, до та після горіння, г;

$\Delta m$  – маса пелети, що втрачена під час горіння, г;

– швидкість горіння  $V_{\sigma}$ , що характеризує масу пелети, яка згоріла в одиницю часу:

$$V_{\sigma} = \frac{m_d - m_n}{t}, \quad (5.51)$$

де  $t$  – час горіння зразка, хв.

Випробування пелет однакового об'єму і форми з осіннього листа на згоряння з використанням пальникового пристрою Час примусового горіння пелет складав вісім хвилин. Для порівняння інтенсивності горіння брикетів використовувався “зразок 0” із дерева клену.

Залежність густини пелет від тиску пресування наведена на рис. 5.47.

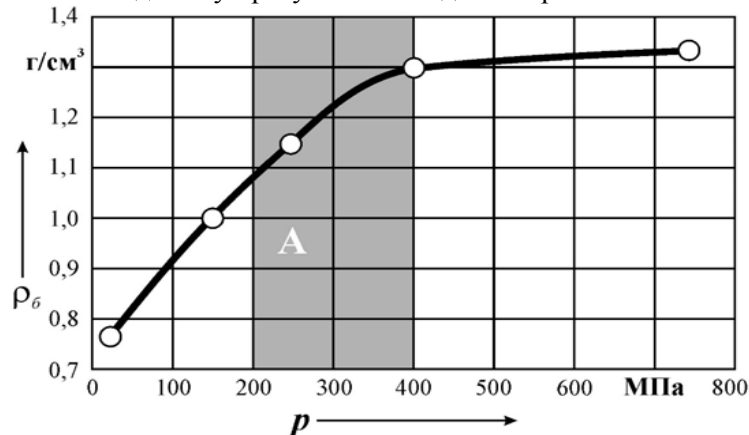


Рис. 5.47. Залежність густини пелет  $\rho_6$  від тиску пресування  $p$

Джерело: авторська розробка

Аналіз залежності показує, що на початку тиск пресування зростає поступово і рівномірно. Можна констатувати, що при пресуванні пелет з листя клену густина зразків знаходиться в лінійній залежності від тиску пресування на інтервалі від 0 до  $\sim 300$  МПа, а після 400 МПа густина асимптотично наближається до значення  $1,33 \text{ г/см}^3$ . Також результати пресування біосировини з листя клену показали, що підвищувати зусилля пресування вище 440 кН недоцільно, оскільки густина пелет практично не підвищується вище  $1,33 \text{ г/см}^3$ , що є найбільшою природною густиною дерева [6].

При визначенні зони оптимальних тисків пресування пелет із здрібненого листя клену, була вивчена структура виготовлених пелет з різною густиною (рис. 5.48). Фрактографії їх поверхонь наведено на рис. 5.49.

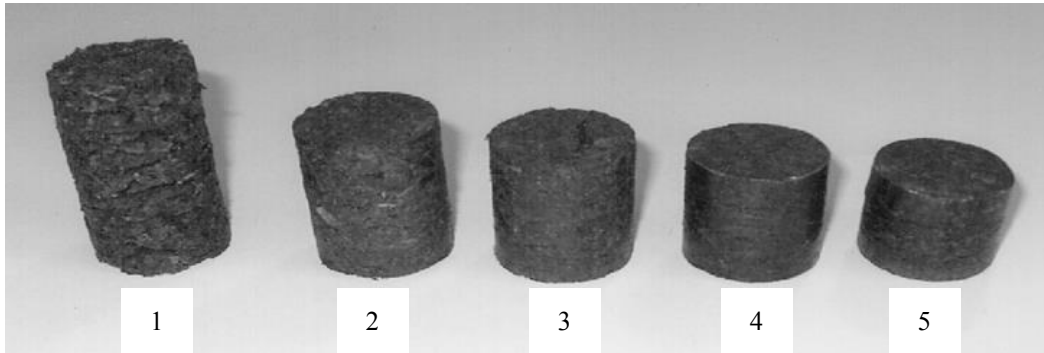


Рис. 5.48. Пелети з подрібненого листя клену різної густини:

1)  $\rho = 0,7 \text{ г/см}^3$ ; 2)  $\rho = 1,06 \text{ г/см}^3$ ; 3)  $\rho = 1,15 \text{ г/см}^3$ ; 4)  $\rho = 1,3 \text{ г/см}^3$ ; 5)  $\rho = 1,33 \text{ г/см}^3$

Джерело: авторська розробка

Результати фрактографічних досліджень показали, що з підвищенням густини пелет відстань між часточками на поверхні зменшується від 0,5 мм (рис. 5.49, а), зразок 1) до 0,01 мм (рис. 5.49, б), зразок 5) при зменшенні кількості наявних меж між часточками, що вказує на підвищення міцності останнього зразка. З огляду зовнішньої поверхні пелет та аналізу фрактографій можна зробити висновок, що зразки із листя, густина яких є не менше  $1 \text{ г/см}^3$ , будуть стійкі до руйнування в процесах зберігання та транспортування. Верхню межу густини пелет, з урахуванням раціонального витрачання енергії на їх пресування, доцільно обмежити величиною  $1,3 \text{ г/см}^3$ .

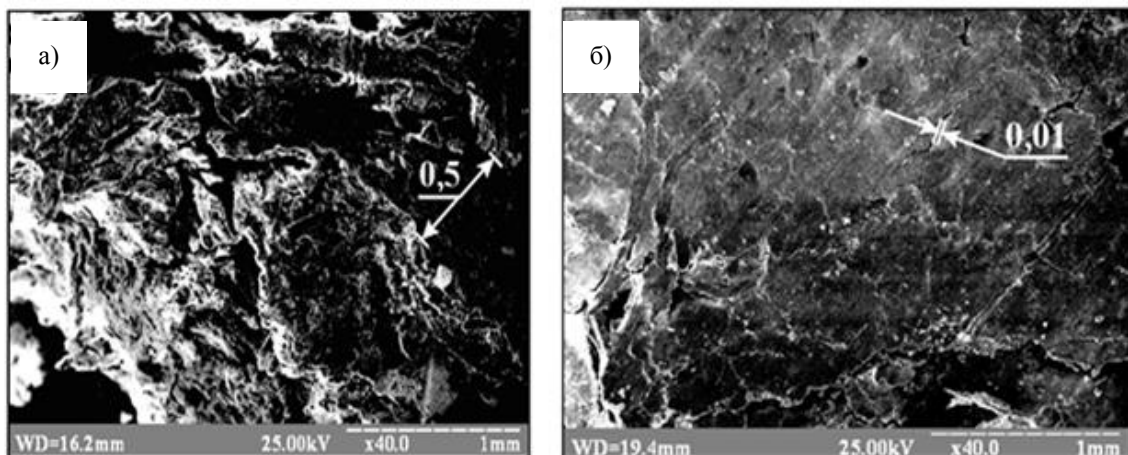


Рис. 5.49. Фрактографії поверхонь пелет різної густини зі здрібненого листя клену:

а) зразок 1,  $\rho = 0,7 \text{ г/см}^3$ ; б) зразок 5,  $\rho = 1,33 \text{ г/см}^3$

Джерело: авторська розробка

Результати аналізу отриманих результатів показали, що оптимальний тиск пресування пелет з осіннього листя без додавання домішок, який забезпечує отримання пелет густиною від 1 до  $1,3 \text{ г/см}^3$ , лежить у межах від 200 до 400 МПа (рис. 5.47, зона А). Максимальне значення густини пелет, отриманих з опалого листя при тиску пресування 400 МПа в закритій матриці –  $1,3 \text{ г/см}^3$  співпадає з максимальним значенням густини пелет, отриманих при пресуванні у відкриту матрицю з висотою циліндричної частини філь'єри  $h = 35$  мм (рис. 5.43).

Результати випробування зразків пелет на згоряння наведено у табл. 5.9.

Таблиця 5.9

**Результати випробування зразків пелет з осіннього листа на згоряння**

Показники	Зразок 0 із дерева	Пелети				
		Зразок 1	Зразок 2	Зразок 3	Зразок 4	Зразок 5
$\rho_{\text{сух}}, \text{г/см}^3$	0,6	0,92	0,97	1,01	1,07	1,23
$\lambda_6, \%$	91,2	59,5	49,0	48,4	47,8	23,0
$V_6, \text{г/хв.}$	1,1	0,8	0,71	0,65	0,61	0,38

*Джерело: авторська розробка*

Аналіз табл. 5.9 показує, що із підвищенням густини брикету  $\rho_6$  показники інтенсивності горіння  $\lambda_6$  та  $V_6$  знижуються. Останнє підтверджується лінійною графічною залежністю коефіцієнта зменшення маси брикету із листа  $\lambda_6$  від  $\rho_6$ , що наведена на рис. 5.50.

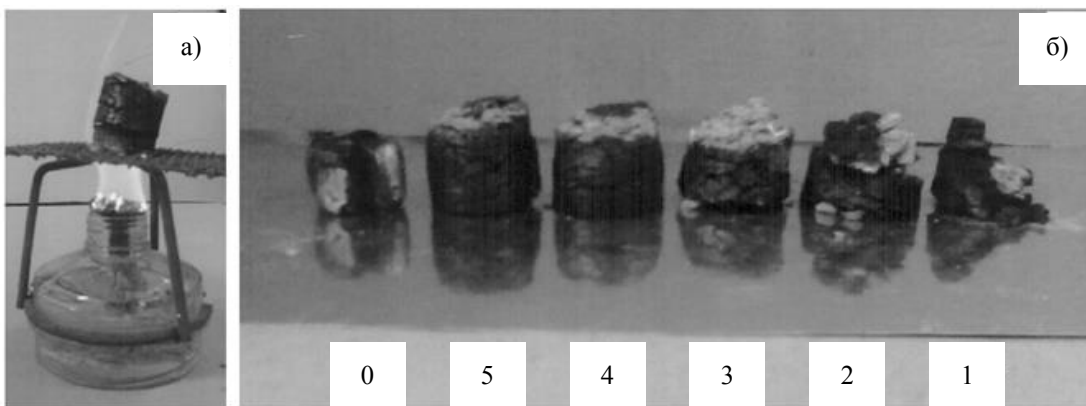


Рис. 5.50. Випробування пелет з осіннього листа на згоряння:  
а) пристрій для випробування пелет на згоряння; б) пелети після згоряння  
(0 – зразок з дерева; 1 ... 5 – зразки пелет з листа)

*Джерело: авторська розробка*

Результати дослідів показали, що пелети з густиною  $1,23 \text{ г/см}^3$  горять у 3 рази довше, порівняно з натуральним зразком із дерева клену.

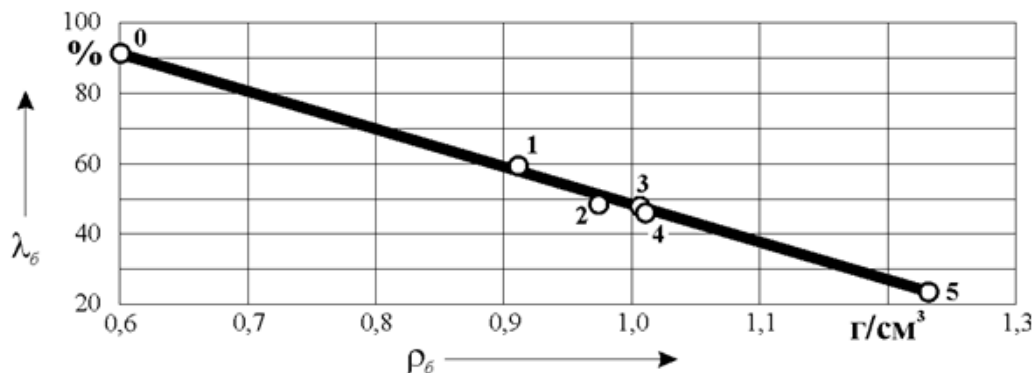


Рис. 5.51. Залежність коефіцієнтів зменшення маси пелет  $\lambda_6$  від їх густини  $\rho_6$ :  
0 – зразок з дерева; 1 ... 5 – зразки пелет з листа

*Джерело: авторська розробка*

Результати проведених експериментів [7] показали, що в пресовому пристрої з вертикальним пуансоном і закритою матрицею, при застосуванні біосировини з сумішшю тирси і соломи, соломи, тирси і листа дубу вологістю 9 ... 10 % при тисках 260... 350 МПа утворюються зразки біопалива, які мають гладку бокову поверхню (рис. 5.52) та щільну структуру (табл. 5.10).

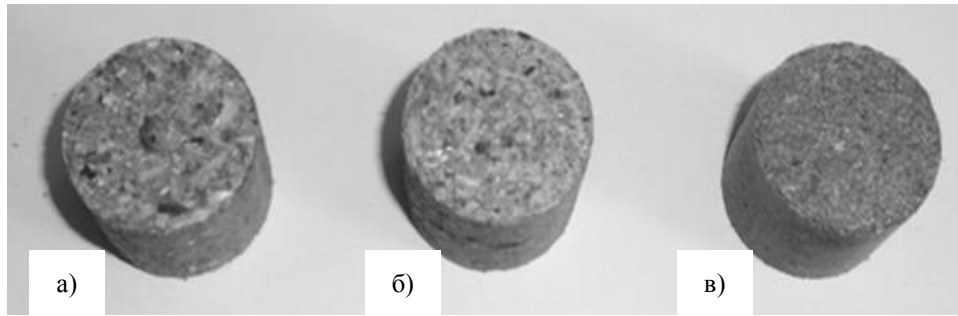


Рис. 5.52. Зразки пелет (діаметром 27 мм і довжиною 30 мм) з соломи а), суміші тирси і соломи б) та соломи, тирси і листя дубу в), виготовлених при тиску 260 МПа  
Джерело: авторська розробка

Значення густини, що відповідає вимогам європейським стандартам  $\rho \geq 1,0 \text{ г/см}^3$  [30], досягається при тиску 260 МПа. Зростання тиску пресування з 90 до 350 МПа підвищує густину пелет з соломи на  $\sim 27\%$ .

Таблиця 5.10

**Густина пелет, виготовлених з соломи та суміші рослинних відходів при різних тисках пресування**

Солома		Солома + тирса (0,5/0,5)		Солома + тирса + листя (0,33/0,33/0,33)	
Тиск пресування, МПа	Густина пелет $\rho$ , г/см <sup>3</sup>	Тиск пресування, МПа	Густина пелет $\rho$ , г/см <sup>3</sup>	Тиск пресування, МПа	Густина пелет $\rho$ , г/см <sup>3</sup>
90,07	0,82	260,0	1,01	260,0	0,97
175,0	0,91	300,0	1,02	300,0	1,08
260,0	1,00	–	–	–	–
350,0	1,12	–	–	–	–

Джерело: авторська розробка

Результати дослідів по визначенню твердості пелет з соломи наведені у табл. 5.11. Значення величин твердості отриманих пелет із соломи близькі до твердості таких порід дерев як сосна, модрина, клен [3].

Таблиця 5.11

**Твердість пелет з соломи, виготовлених при різних тисках пресування**

Пелети, виготовлені при тиску, МПа	Середній діаметр лунки d, мм	Середня твердість пелет, НВ	
		кгс/мм <sup>2</sup>	Мпа
175,4	6,78	2,29	22,5
263,2	6,52	2,55	25,0

Джерело: авторська розробка

Результати експериментальних досліджень утворення пелет з сумішей: “солома + ПЕТФ”, “солома + буре вугілля”, “солома + тирса + листя дубу + буре вугілля” приведені у табл. 5.12, а загальний вигляд пелет показано на рис. 5.53 і 5.54.

Таблиця 5.12

**Густина пелет, виготовлених з суміші рослинних відходів та бурого вугілля або ПЕТФ при тиску пресування 300 МПа**

Солома				Солома, тирса, листя дубу	
Вміст бурого вугілля, %	Густина пелет $\rho$ , г/см <sup>3</sup>	Вміст ПЕТФ, %	Густина пелет $\rho$ , г/см <sup>3</sup>	Вміст бурого вугілля, %	Густина пелет $\rho$ , г/см <sup>3</sup>
5	0,95	10	0,82	5	0,96
15	0,96	20	0,76	15	0,98
25	0,98	30	0,72	25	1,01
40	1,08	–	–	–	–
50	1,09	–	–	–	–

Джерело: авторська розробка

Збільшення вмісту ПЕТФ в соломі з 10 до 30 % знижує густину пелет (табл. 5.12) і погіршує структуру їх поверхонь (рис. 5.53). Такий результат можна пояснити суттєво різними показниками коефіцієнта Пуассона соломи і ПЕТФ: відповідно 0,124 і 0,37 ... 0,45 [24; 14], що викликає внутрішнє переміщення частинок сировини після зняття тиску пресування.

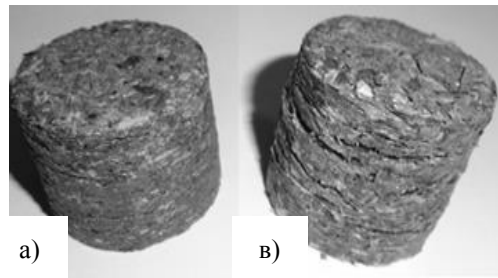


Рис. 5.53. Зразки пелет діаметром 27 мм, виготовлених з соломи і ПЕТФ, вміст якого складає 10 % – а), і 30 % – в)

*Джерело: авторська розробка*

Зростання вмісту бурого вугілля від 5 до 50 % в суміші з соломкою при пресуванні підвищує фізико-механічні характеристики пелет (табл. 5.12, рис. 5.54).

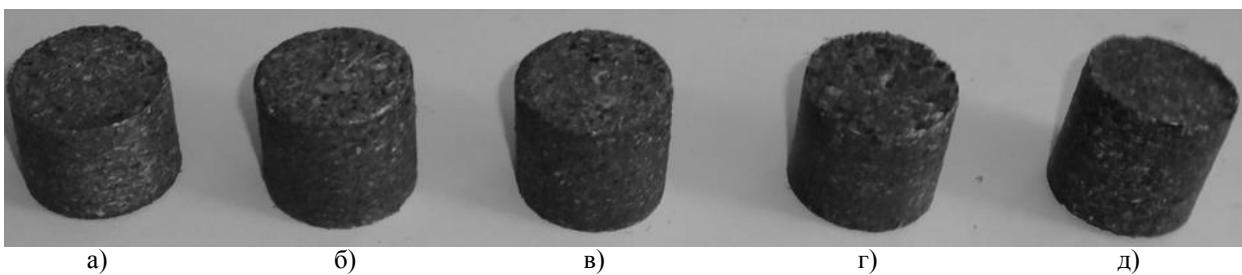


Рис. 5.54. Зразки пелет діаметром 27 мм, виготовлених з соломи і бурого вугілля, вміст якого складає: а) 5 % ( $\rho = 0,95 \text{ г/см}^3$ ); б) 15 % ( $\rho = 0,96 \text{ г/см}^3$ ); в) 25 % ( $\rho = 0,98 \text{ г/см}^3$ ); г) 40 % ( $\rho = 1,08 \text{ г/см}^3$ ); д) 50 % ( $\rho = 1,09 \text{ г/см}^3$ )

*Джерело: авторська розробка*

Аналогічні результати були одержані при виготовленні пелет на основі сумішей рослинних відходів соломи, тирси і опалого листя дубу з бурим вугіллям (табл. 5.12, рис. 5.55).

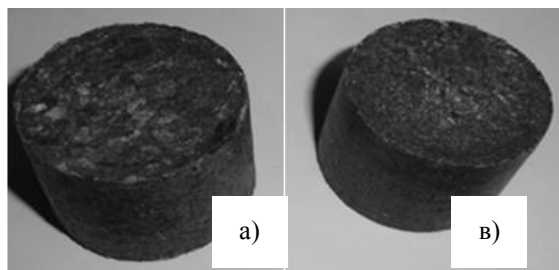


Рис. 5.55. Зразки пелет діаметром 27 мм і висотою 30 мм, виготовлені з суміші композиту соломи, тирси, листя дубу (0,33/0,33) і бурого вугілля вмістом: а) 5 %; в) 25 %

*Джерело: авторська розробка*

За результатами експериментальних досліджень виготовлення композитного палива на основі рослинних відходів в закрити матрицю можна зробити наступні висновки [7]:

– на пресі з вертикальним розташуванням пуансона утворюються зразки біопалива задовільної якості з соломи, сумішей: тирси і соломи, соломи, тирси і листя дубу (вологість сировинних матеріалів знаходилась в межах 9 ... 10 %) при тисках 260 ... 350 МПа. Густина вироблених при тиску пресування 260 МПа зразків досягає значення  $1 \text{ г/см}^3$ , що відповідає вимогам європейських стандартів [30];

– з композиту зі складом “солома + ПЕТФ” при тиску 300 МПа утворюються пелети задовільної якості та з максимальною густиною  $0,82 \text{ г/см}^3$  при вмісті ПЕТФ 10 %, яка зменшується до  $0,72 \text{ г/см}^3$  в пелетах із вмістом ПЕТФ 30 %; з композиту “рослинні відходи + буре вугілля” утворюються пелети задовільної якості, густина яких при підвищенні вмісту бурого вугілля від 5 % до 50 % збільшуються від  $0,95 \text{ г/см}^3$  до  $1,09 \text{ г/см}^3$ .

**5.10. Удосконалена технологія виготовлення матриць пелетоутворюючих пресових пристроїв**

© Клименко В. В.

*д.т.н., професор, Центральноукраїнський  
національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна*

© Кравченко В. І.

*к.т.н., доцент, Центральноукраїнський  
національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна*

© Боков В. М.

*к.т.н., професор, Центральноукраїнський  
національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна*

© Сіса О. Ф.

*к.т.н., доцент, Центральноукраїнський  
національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна*

Пелетоутворення з рослинних відходів у пресах-грануляторах є найбільш розповсюдженим для виробництва біопалива [20]. Такі процеси реалізуються в безперервному режимі, дозволяють отримати вироби об'ємом у 3–5 разів меншим за початковий і мають достатню густину, що поліпшує ефективність їх подальшого використання в якості палива.

Преси виготовляються з міцних матеріалів з жорсткими корпусами. Виділяють два основних види пелетоутворювачів (прес-грануляторів) – з плоскою і циліндричною матрицею. У компактних моделях пресів для гранулювання рослинних відходів перевага віддається використанню плоским матрицям (рис. 5.56).



Рис. 5.56. Набір плоских матриць для преса-гранулятора

*Джерело: авторська розробка*

Одним з основних параметрів, що визначає закономірність формування пелет або брикетів в матриці пресового обладнання є шорсткість поверхні її фільтр-ери. Підвищення величини коефіцієнта тертя поверхні фільтрери матриці сприяє збільшенню густини гранул, проте і значно збільшує енерговитрати на процес пресування [28].

У роботі [21] наведені результати досліджень пресування біопалива, з яких випливає, що найкращі умови при стисканні в калібрувальній частині матриці сировини, в залежності від її матеріалу, створюються при наявності шорсткості бічної поверхні  $Ra = 3,2 \dots 6,3$  мкм.

Для обробки фільтр матриць окрім слюсарно-механічного методу можуть застосовуватись наступні: алмазне шліфування, електрохімічна і електроерозійна обробка [21]. Однак через значні витрати висококваліфікованої ручної праці, неприйнятних особливостей деяких з цих методів, специфіки конструкцій інструментів та невисокої продуктивності обробки, такі методи не завжди ефективні.

Удосконалити технологію виготовлення матриць пелетоутворюючих пресових пристроїв можливо шляхом застосування способу розмірної обробки металів електричною дугою (РОД), за яким енергія підводиться в зону обробки безперервно [2; 13].

Завдяки можливості вводу в зону обробки електричного струму великої потужності забезпечується висока продуктивність. Наприклад, при обробці круглого отвору діаметром 30 мм (площа обробки 706 мм<sup>2</sup>) в матеріалі сталь 45 при силі струму  $I = 1000\text{А}$ , продуктивність досягає 27300 мм<sup>3</sup>/хв при  $Ra = 6,3\text{ мкм}$ , та глибині зони термічного впливу в межах кількох сотих часток міліметра. Однак, щоб впровадити у виробництво матриць для брикетування технологію РОД необхідно визначити взаємозв'язок характеристик процесу РОД виготовлення матриць з електричним і гідродинамічним режимами обробки та геометричними параметрами отворів, які обробляються. Проблема ще більше ускладнюється при отриманні отвору з певною шорсткістю поверхні калібрувальної частини матриці.

У Центральноукраїнському національному технічному університеті проведені експериментальні дослідження з метою визначення можливості використання способу РОД для високопродуктивної обробки матриць, що застосовуються в обладнанні для гранулювання і брикетування твердих біопалив [21].

В експериментах була вибрана технологічна схема формоутворення за принципом прошивання. Обробку здійснювали з використанням графітового електрода-інструмента (ЕІ, марка МПГ-7) при вибраній технологічній схемі формоутворення з прокачуванням органічного середовища в торцевому міжелектродному зазорі (МЕЗ) під технологічним тиском, за напрямком від периферії до центру електрода-інструмента (рис. 5.57). Предметом дослідження були такі технологічні характеристики: продуктивність обробки  $M$ , мм<sup>3</sup>/хв; питома продуктивність обробки  $M_a$ , мм<sup>3</sup>/А·хв; питома витрата електроенергії  $a$ , кВт·год./кг; бічний зовнішній МЕЗ  $\delta$ , мм; відносний лінійний знос ЕІ  $\gamma$ , %; шорсткість обробленої поверхні  $Ra$ , мкм.

Побудова математичних моделей технологічних характеристик процесу РОД сталі Х12МФ здійснювалось з застосуванням математичних методів планування експериментів, зокрема плану  $2^{4-1}$ , самі поліноміальні моделі наведені в табл. 5.13 [12]. При побудові моделей на підставі апріорної інформації були відібрані фактори, що визначають режими обробки: сила технологічного струму  $I$ , А; статичний тиск робочої рідини на вході в між електродний проміжок  $P_{ст}$ , МПа) та фактори, що визначають геометричні параметри обробки (площа обробки  $F$ , мм<sup>2</sup>; глибина обробки  $h$ , мм).

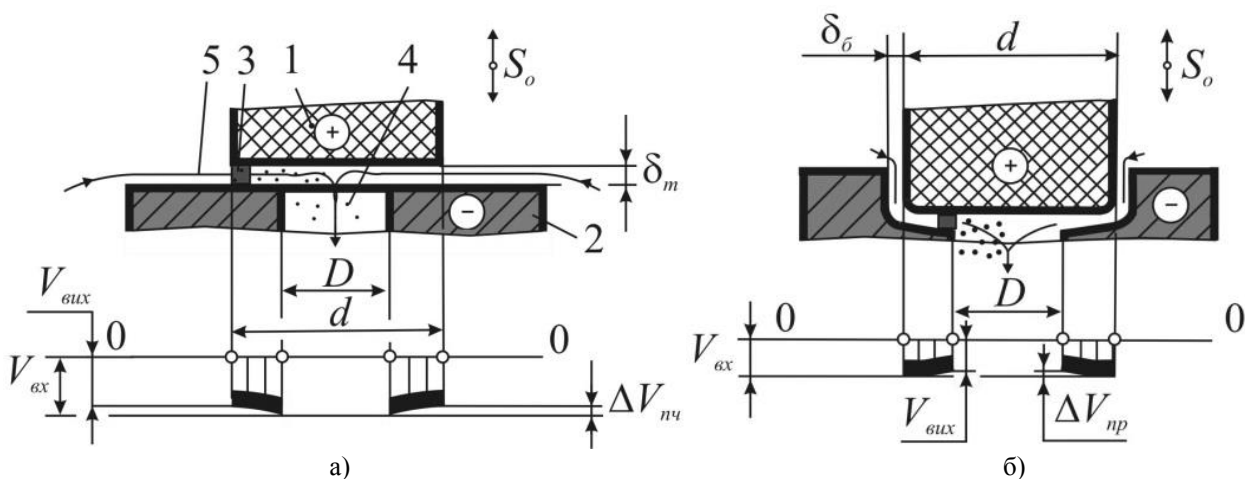


Рис. 5.57. Технологічна схема формоутворення в матриці та епюри швидкостей потоку в торцевому МЕЗ:

а) початкова фаза обробки; б) проміжна фаза обробки; 1 – графітовий ЕІ;

2 – сталева заготовка; 3 – електрична дуга; 4 – продукти ерозії; 5 – гідродинамічний потік

*Джерело: авторська розробка*

Всі фактори задовольняли умовам керованості, операційності та однозначності. Інші параметри процесу РОД були зафіксовані на постійному рівні: робоча рідина – органічне середовище; полярність обробки – зворотна; матеріал електрода-інструмента – електроерозійний графіт марки МПГ-7.



У рамках експерименту змінювались: продуктивність процесу РОД М сталі Х12МФ – в межах від 1472 до 3086 мм<sup>3</sup>/хв.; питома продуктивність обробки  $M_a$  – від 12,6 до 30,55 мм<sup>3</sup>/А·хв; питома витрата електроенергії  $a$  – 1,18 до 4,57 кВт·год./кг; бічний зовнішній МЕЗД – 0,020 до 0,035 мм; відносний лінійний знос  $EI \gamma$  – 0,46 до 1,74 %; шорсткість обробленої поверхні  $R_a$  – 6,3 до 20 мкм.

Таблиця 5.13

**Поліноміальні математичні моделі технологічних характеристик процесу РОД зразків із сталі Х12МФ**

Математична модель	Масштабні співвідношення факторів
Уніполярна РОД бічної поверхні зразка за формулою “графітовий ЕІ-сталь” з використанням способу зворотного прокачування	
$M = 3061 + 1486x_1 - 508x_2 - 390x_4$	$x_1 = (X_1 - 150) / 50$ $x_2 = (X_2 - 1) / 0,2$ $x_3 = (X_3 - 560) / 161$ $x_4 = (X_4 - 3,5) / 1,5$
$M_a = 19,249 + 3,468x_1 - 2,72x_2 - 2,481x_4$	
$a = 3,075 - 0,678x_1$	
$R_a = 12,81 + 5,31x_1 - 0,96x_2 + 0,512x_4$	
$\delta_a = 0,0205 - 0,00562x_2$	
$\gamma_e = 0,967 - 0,34x_2 - 0,208x_4 - 0,085x_1 + 0,023x_3$	
де: $X_1 \rightarrow I, A$ ; $X_2 \rightarrow P_{ct}, \text{Мпа}$ ; $X_3 \rightarrow F, \text{мм}^2$ ; $X_4 \rightarrow h, \text{мм}$	

Джерело: авторська розробка

Із аналізу моделі (рис. 5.58) випливає, що на продуктивність обробки  $M$  найбільш впливає сила технологічного струму, з підвищенням якої продуктивність збільшується. Отже, силу струму слід визначити головним керуючим фактором, а даний факт свідчить про теплову природу процесу РОД. Вплив площі обробки  $F$  на продуктивність значно менший, а статичний тиск  $P_{ct}$  та глибина обробки суттєвого впливу не мали.

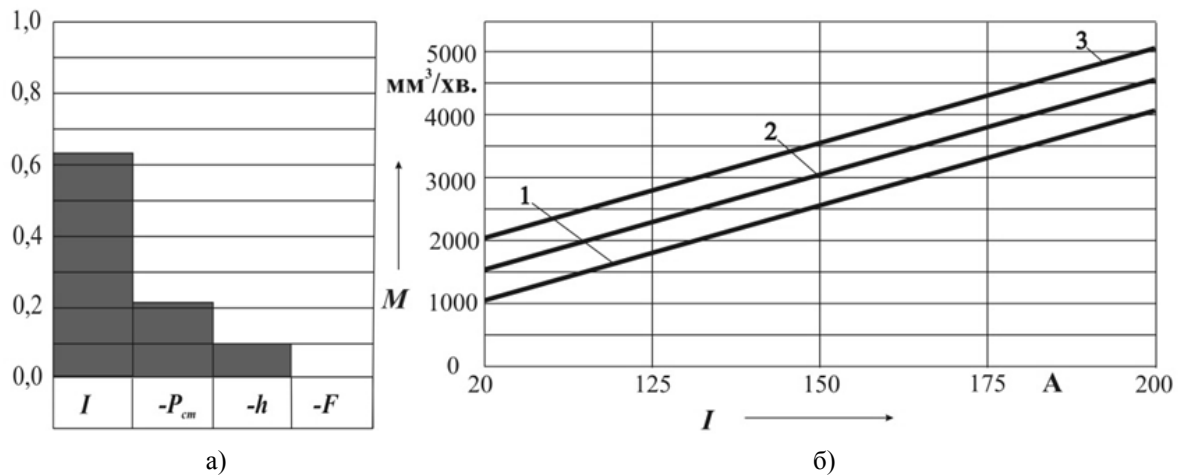


Рис. 5.58. Продуктивність чорнкової РОД бічної поверхні  $M$  зразка матриці (формула РОД: “графітовий ЕІ-сталь” з використанням способу зворотного прокачування):

а) ступінь впливу змінних факторів; б) залежність  $M$  від  $I$  та  $P_{ct}$ ;

1 –  $P_{ct} = 1,2 \text{ МПа}$ ; 2 –  $P_{ct} = 1,0 \text{ МПа}$ ; 3 –  $P_{ct} = 0,8 \text{ МПа}$

Джерело: авторська розробка

Із моделі та рис. 5.59 можна зробити висновок, що шорсткість обробленої поверхні  $R_a$  в повній мірі визначається силою технологічного струму  $I$  (ступінь впливу – 78,3 %) та залежить від статичного тиску  $P_{ct}$ , та глибини обробки  $h$ . Із підвищенням  $I$  шорсткість поверхні підвищується.

Отже, підтверджено, що сила технологічного струму  $I$  по відношенні до шорсткості обробленої поверхні  $R_a$  є головним керуючим фактором. Причому, чим менша сила технологічного струму, тим більша ймовірність утворення лунок. При виконаних експериментальних дослідженнях шорсткість вимірювалася на периферійній частині торцевої поверхні зразка.

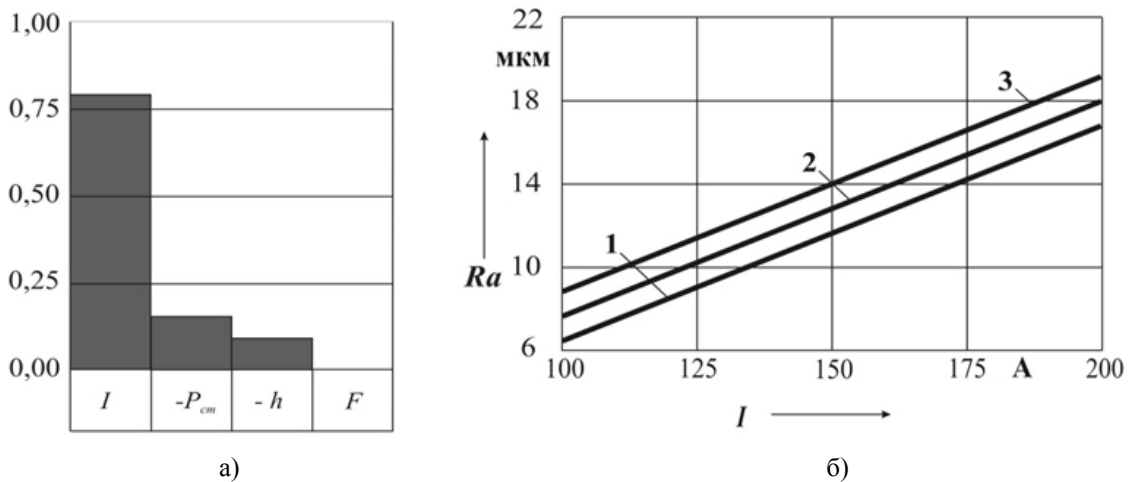


Рис. 5.59. Шорсткість обробленої поверхні Ra РОД бічної поверхні зразка (формула РОД: “графітовий ЕІ-сталь” з використанням способу зворотного прокачування):

а) ступінь впливу змінних факторів; б) залежність Ra від I та  $P_{ст}$

1 –  $P_{ст} = 1,2$  МПа; 2 –  $P_{ст} = 1,0$  МПа; 3 –  $P_{ст} = 0,8$  МПа

Джерело: авторська розробка

В умовах експерименту вона змінювалася у межах від Ra – 6,3 до 20  $\mu\text{m}$ . За результатами металографічних досліджень мікротріщин у поверхневому шару зразка після РОД не виявлено.

Обробку бічної поверхні, а саме фасонної циліндричної калібруючої напрямної (рис. 5.60) здійснювали графітовим ЕІ марки МПГ-7 при наступному режимі обробки: сила технологічного струму  $I = 100$  А, напруга на дузі  $U = 27$  В, статичний тиск органічної робочої рідини на вході потоку в міжелектродний зазор  $P_{ст} = 1,2$  МПа, площа обробки  $F = 721$   $\text{mm}^2$ , полярність обробки зворотна (заготовка “плюс”), спосіб прокачування рідини крізь торцевий міжелектродний зазор – зворотній (від периферії до центра отвору заготовки). В результаті обробки матриці для брикетування з сталі Х12МФ, була зафіксована продуктивність обробки  $M = 1520$   $\text{mm}^3/\text{хв.}$ , що в 4,1 ... 5,2 разів перевищує продуктивність електроімпульсної обробки.

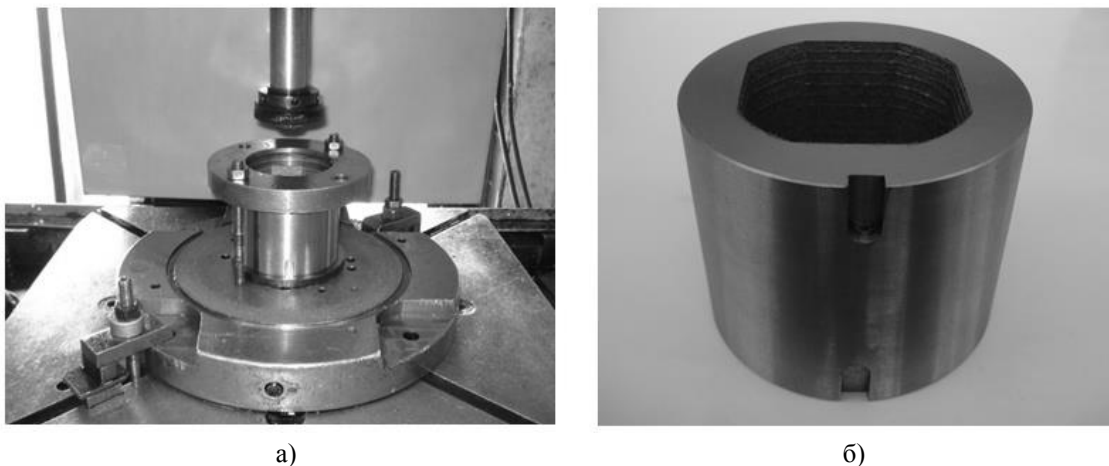


Рис. 5.60. Випробування способу РОД матриць для брикетування:

а) обробка матриці на електроерозійному верстаті моделі “Дуга-8 Г”;

б) матриця для брикетування після РОД фасонного калібруючого отвору графітовим ЕІ ( $I = 100$  А,  $P_{ст} = 1,2$  МПа,  $F = 721$   $\text{mm}^2$ ,  $h = 78$  мм)

Джерело: авторська розробка

Отримані результати досліджень дозволяють рекомендувати спосіб РОД для виготовлення матриць пресового обладнання, що застосовується у виробництві твердого біопалива з рослинних відходів та композитів на їх основі.

### 5.11. Приклад визначення витрати композитного біопалива у газогенераторі автономної енергетичної установки

© Клименко В. В.

*д.т.н., професор, Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна*

© Кравченко В. І.

*к.т.н., доцент, Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна*

© Боков В. М.

*к.т.н., професор, Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна*

© Сіса О. Ф.

*к.т.н., доцент, Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна*

Найбільш розповсюдженою технологією використання твердого біопалива в автономних енергетичних установках (АЕУ) є його термохімічна газифікація з продукуванням горючого синтез-газу у газогенераторах, який потім подається для спалювання, наприклад, у двигуні внутрішнього або зовнішнього згоряння [9; 17; 18]. Термічна газифікація композитного біопалива являє собою процес часткового окислення вуглецевмісної сировини з одержанням газоподібного енергоносія – синтез-газу [23].

Склад синтез-газу, отриманого в результаті термічної газифікації, буде залежити від типу твердого біопалива, виду газифікуючого агенту та умов проведення процесу [29]. Так, наприклад, використання пелет, виготовлених з суміші гранульованого вугілля і тирси з різною фракційністю, в процесі газифікації дозволяє збільшити вихід метану  $\text{CH}_4$  та окису вуглецю  $\text{CO}$ , що збільшить теплоту згоряння виробленого синтез-газу [26; 27].

На сталість виходу якісного синтез-газу впливає однорідність структури сировини, що завантажується у газогенератори, і це є додатковою перевагою використання у них композитного палива у вигляді пелет або брикетів. Отриманий синтез-газ після охолодження, очистки від смол та домішок можна безпосередньо використовувати у теплових двигунах АЕУ [18].

Проведений аналіз показав, що більш доцільно застосовувати в АЕУ газогенератори із зворотним процесом газифікації (рис. 5.61), які працюють з використанням повітряно-атмосферного газифікуючого агенту. Вироблений у таких газогенераторах синтез-газ містить менше, у порівнянні із отриманим в процесі прямої газифікації, шкідливих смол:  $50 - 500 \text{ мг/м}^3$ , а їх конструкція надає можливість завантажувати паливо під час роботи двигуна [9].

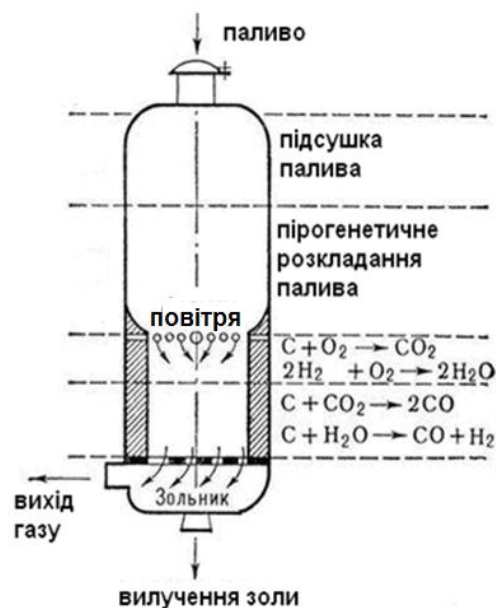


Рис. 5.61. Схема роботи газогенератора зворотного процесу газифікації (з реакціями окислення та відновлення)

Нижче, в якості прикладу, наводиться визначення потреби у композитному біопаливі, що складається із суміші рослинних відходів соломи та опалого листя, для вироблення синтез-газу, який потрібний для забезпечення ДВЗ MeM3-965 (робочий об'єм циліндрів  $V = 0,9$  л) [15] при частоті обертання колінчастого валу  $n = 2200$  об/хв.

Приймаємо, що використовується композитне паливо з соломи та опалого листя (50/50 % масових) наступного елементного складу [9]:

$C^p$	$H^p$	$O^p$	$N^p$	$W^p$	$A^p$
45	6,0	40	0,5	5,0	3,5

де  $W^p$  та  $A^p$  – відповідно відносна вологість і зольність палива на робочу масу.

Середній склад синтез-газу (% об'ємних) [9]:

$CO_2$	$O_2$	$CO$	$H_2$	$CH_4$	$C_nH_m$	$N_2$
13,3	0,2	15,4	14,8	3,2	0,1	53,0

Тоді об'єм сухого газу з 1 кг композитного палива складе [23]:

$$V_g = \frac{1,867(C^p - C_n)}{CO + CO_2 + CH_4} = \frac{1,867(45 - 1,5)}{15,4 + 13,3 + 3,2} = 2,55 \text{ м}^3/\text{кг},$$

де  $C_n$  – втрати вуглецю, що виноситься пилом, 1,5 %.

Нижча теплота згоряння палива:

$$Q_H = 127CO + 108H_2 + 358CH_4 = \\ = 127 \cdot 15,4 + 108 \cdot 14,8 + 358 \cdot 3,2 = 4699,8 \text{ кДж/м}^3.$$

Визначення потужність двигуна проводимо згідно методики [23].

Кількість повітря, що необхідна для спалювання 1 м<sup>3</sup> палива, м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>:

$$L = (1/21) [0,5(CO + H_2) + 2CH_4 + O_2].$$

Витрата газу, м<sup>3</sup>/год.:

$$V_r = \frac{0,03k \cdot V \cdot n \cdot n_v}{1 + aL}, \quad (5.52)$$

де  $k$  – коефіцієнт приведення температури та тиску синтез-газу перед робочим процесом  $k = 0,92$ ;

$n_v$  – коефіцієнт наповнення циліндрів ( $n_v = 0,68$ ).

Годинна витрата палива для живлення двигуна, кг/год.:

$$G_{\text{пал}} = V_r/V_g. \quad (5.53)$$

Середній ефективний тиск, як різниця середнього тиску тертя  $P_{\text{тр}}$  та індикаторного тиску  $P_i$ :

$$P_e = P_i - P_{\text{тр}}, \quad (5.54)$$

де  $P_{\text{тр}} = 0,35 + 0,005 \cdot p$  – середній тиск тертя, ат;

$P_i = 0,0427h_u \cdot \eta_i \cdot n_v$  – середній індикаторний тиск, ат;

$\eta_i$  – індикаторний ККД, що приймається 0,32;

$h_u$  – теплотворність 1 м<sup>3</sup> газоповітряної суміші, що подається в ДВЗ:

$$h_u = \frac{0,92 \cdot Q_H}{1 + aL}; \quad (5.55)$$

Ефективна потужність двигуна:

$$N_e = \frac{P_e \cdot V \cdot n}{900}. \quad (5.56)$$

Результати розрахунків витрат композитного біопалива на вироблення синтез-газу та основних технічних характеристик ДВЗ MeM3-965, що виконані за вищенаведеною методикою, наведені у табл. 5.14.

Таблиця 5.14

**Результати розрахунків витрат композитного біопалива на вироблення синтез-газу та основних технічних характеристик ДВЗ MeM3-965 (при  $n = 2200$  об/хв)**

Параметри	Одиниця виміру	Кількість
Об'єм повітря, що необхідно для спалювання 1 м <sup>3</sup> синтез-газу, L	м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup>	1,03
Витрата газу, $V_r$	м <sup>3</sup> /год.	18,2
Годинна витрату синтез-газу для живлення двигуна, $G_{\text{пал}}$	кг/год.	7,13
Середній тиск тертя, $P_{\text{тр}}$	ат	1,45
Середній індикаторний тиск, $P_i$	ат	4,62
Середній ефективний тиск, $P_e$	ат	3,17
Теплотворність 1 м <sup>3</sup> газоповітряної суміші, $h_u$	ккал/м <sup>3</sup> /(кДж/м <sup>3</sup> )	506,1/2119,0
Ефективна потужність двигуна, $N_e$	к.с/кВт	7,0/5,2
Витрата композитного біопалива – пелет із соломи та опалого листя	кг/год.	6,0

Джерело: розрахунки авторів

За результатами дослідження:

1. Проаналізовано традиційні біопалива з твердих рослинних відходів та обґрунтовано доцільність використання альтернативних біопаливних матеріалів: опалого листя і композитів на основі твердих рослинних відходів, виконано дослідження особливостей і закономірностей виготовлення з них пелет та брикетів.

2. Розроблено методику та виконано експериментальні дослідження виготовлення пелет з опалого листя у відкритій матриці. Визначено, що в межах значення кута входу біоматеріалу в матрицю від  $60^{\circ}$  до  $120^{\circ}$  максимальне значення густини пелет, виготовлених з опалого вологого листя клену досягається при величині кута  $90^{\circ}$ , а збільшення довжини циліндричної частини матриці з 15 мм до 35 мм підвищує густину на 3,5 %.

3. Розроблено методику та виконано експериментальні дослідження виготовлення біопаливних пелет з опалого листя, рослинних відходів та композитів на їх основі у пресовому пристрої з вертикальним пуансоном і закритою матрицею. Встановлено, що оптимальний тиск пресування пелет з осіннього листя без додавання домішок лежить у межах від 200 до 400 МПа та забезпечує отримання пелет густиною від 1,0 до 1,3 г/см<sup>3</sup>.

4. Порівняльні випробування інтенсивності горіння пелет з густиною 1,23 г/м<sup>3</sup>, виготовлених з опалого листя, показали, що вони горять у три рази довше зразків, виготовлених з дерева клену.

5. За результатами експериментальних досліджень виготовлення композитного палива на основі рослинних відходів в закрити матрицю встановлено наступне:

– зразки біопалива задовільної якості з соломи, сумішей: тирси і соломи, соломи, тирси і листя дубу (вологість сировинних матеріалів знаходилась в межах 9 ... 10 %) утворюються при тисках 260 ... 350 МПа. Густина вироблених при тиску пресування 260 МПа зразків досягає значення 1 г/см<sup>3</sup>, що відповідає вимогам європейських стандартів;

– з композиту зі складом “солома + ПЕТФ” при тиску 300 МПа утворюються пелети задовільної якості та з максимальною густиною 0,82 г/см<sup>3</sup> при вмісту ПЕТФ 10 %; з композиту “рослинні відходи + буре вугілля” утворюються пелети задовільної якості, густина яких при підвищенні вмісту бурого вугілля від 5 % до 50 % збільшуються від 0,95 г/см<sup>3</sup> до 1,09 г/см<sup>3</sup>.

6. Обґрунтовано використовувати при обробці матриць для гранулювання і брикетування твердих біопалив спосіб розмірної обробки металів електричною дугою (РОД). Експериментально підтверджено, що при продуктивності процесу РОД М сталі X12МФ в межах від 1472 до 3086 мм<sup>3</sup>/хв., досягаються значення шорсткості обробленої поверхні Ra від 6,3 до 20 мкм.

7. Наведено приклад визначення витрати композитного біопалива у газогенераторі для живлення синтез-газом двигуна внутрішнього згоряння автономної енергетичної установки.

## Розділ 6

# ЕКОЛОГІЧНІ ВИМОГИ ТА ЇХ ВИРІШЕННЯ В ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННІ ТА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ

### 6.1. Екологічні витрати та енергозбереження: облікові аспекти

© Костенко Ю. О.

*к.т.н., доцент, доцент кафедри управління та адміністрування,  
Харківський національний автомобільно-дорожній університет, м. Харків, Україна*

У поточний час, як у всьому світі, так і в Україні все більше уваги приділяється охороні навколишнього середовища. Екологічні нормативи постійно стають жорсткішими, для їх досягнення необхідно встановлювати нове або додаткове обладнання, проводити певні організаційні заходи. Вартість енергоносіїв та платежі за забруднення навколишнього середовища за останній час суттєво зросли, тому питання визначення впливу екологічних факторів на показники енергозбереження є актуальним для підприємств України.

Запровадження енергозбереження на промислових підприємствах у більшості випадків приводить до зменшення утворення шкідливих речовин, тобто до зменшення обсягу шкідливих речовин, віднесених на одиницю продукції. Це, в свою чергу, приводить до зменшення енерговитрат на роботу очисного обладнання. З іншого боку, посилення екологічних нормативів буде спонукати встановлювати додаткове очисне обладнання на підприємствах, що викличе збільшення енерговитрат на роботу очисного обладнання, віднесених на одиницю продукції. Це збільшення може бути відчутним при значному посиленні екологічних нормативів. Тому тільки за допомогою конкретних розрахунків можна визначити вплив енерговитрат на роботу очисного обладнання на показники енергетичної ефективності [1, с. 63]. Для прийняття управлінських рішень на основі показників енергетичної ефективності необхідна інформація щодо екологічних витрат підприємства, цю інформацію можна отримати з реєстрів бухгалтерського обліку та екологічної звітності підприємства.

Отже, питання визначення екологічних витрат у системі бухгалтерського обліку є актуальним для промислових підприємств України.

У сучасних економічних умовах кожному господарюючому суб'єкту постійно приходиться приймати велику кількість управлінських рішень пов'язаних з природоохоронною діяльністю. Так, за даними Державної служби статистики України (рис. 6.1) з 32488,7 млн. грн які були витрачені на охорону навколишнього природного середовища в Україні 67,9 % це власні кошти підприємств та організацій.

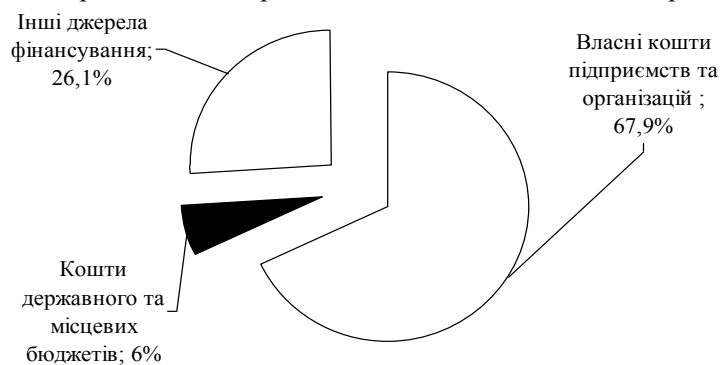


Рис. 6.1. Структура витрат на охорону навколишнього природного середовища в Україні за джерелами фінансування, 2016 р.

*Джерело: [2]*

Крім того, промислові підприємства України повинні готувати звітність, яка містить інформацію про витрати на природоохоронну діяльність, як складається з 7 форм:

1. Звіт про поточні витрати підприємств на охорону природи; витрати на капітальний ремонт основного устаткування природоохоронного призначення (Форма № 1 – екологічні витрати).
2. Звіт про інвестиції в основний капітал (капітальні вкладення) (Форма № 1 – інвестиції).
3. Звіт про охорону атмосферного повітря (Форма № 2 – ТП (повітря) річна, Форма № 2 – ТП (повітря) квартальна).
4. Звіт про створення, використання та видалення токсичних відходів (Форма № 1 – токсичні відходи).

5. Звіт про виконання заходів з охорони земель (Форма 4 – зем).
6. Звіт про капітальні інвестиції (Форма № 2 – інвестиції).
7. Звіт про використання води (Форма № 2 – ТП (водгосп)).

Прийняття ефективних управлінських рішень неможливо без достовірної інформації. Основним джерелом інформації для прийняття управлінських рішень пов'язаних з природоохоронною діяльністю є бухгалтерський облік.

Отже, питання визначення екологічних витрат у системі бухгалтерського обліку є актуальним для підприємств України.

У нормативно-правових актах України з питань бухгалтерського обліку визначення поняття “екологічні витрати” відсутнє. Так, у Методичних положеннях з організації державного статистичного спостереження щодо витрат на охорону навколишнього природного середовища використовується термін “витрати на природоохоронні заходи”, до яких віднесено капітальні інвестиції та поточні витрати на охорону навколишнього природного середовища [3].

Розкриття сутності поняття “екологічні витрати” є предметом постійного обговорення фахівців у сфері економіки, економіки природокористування та бухгалтерського обліку у табл. 6.1 наведені основні визначення цього терміну.

*Таблиця 6.1*

**Визначення поняття “екологічні витрати” різними науковцями**

Автори	Сутність поняття “екологічні витрати”
І. В. Бешуля [4, с. 15]	Екологічні витрати поділяються на ті, що виникають у результаті заходів з попередження й ліквідації наслідків забруднення в ході звичайних виробничих процесів, а також інвестиції, експлуатаційні витрати з управління природоохоронною діяльністю, з ліквідації наслідків завданої екологічної шкоди, відшкодовані витрати
С. М. Бичкова [5, с. 21]	Екологічні витрати – це витрати, що виникають як наслідок взаємодії організації з природним довкіллям. Вони спрямовані на зменшення негативної дії господарського суб'єкта на природне середовище: на організацію системи управління довкіллям і її функціонування, на здійснення контролю за станом довкілля
І. В. Замула [6, с. 16]	Екологічні витрати – це всі витрати, пов'язані зі здійсненням екологічної діяльності підприємства
О. М. Колівешко [7, с. 131]	Під екологічними витратами для цілей бухгалтерського обліку слід розуміти сукупність витрат за користування надрами та іншими природними ресурсами, плату за видобування корисних копалин, екологічний податок та витрати на природоохоронні заходи
О. М. Кондратюк [8, с. 8]	Сукупні екологічні витрати – це сума витрачених матеріальних, трудових і фінансових ресурсів для здійснення операційної та інвестиційної діяльності у сфері ресурсозбереження й охорони навколишнього природного середовища (за винятком реалізованих, знешкоджених і повторно використаних відходів), екологічні зобов'язання у вигляді екологічних платежів, інші понесені витрати і втрати через екологічно несприятливу діяльність підприємства
Л. І. Максимів [9, с. 19, с. 24]	Екологічні витрати – це інтерналізовані витрати, які виникають внаслідок добровільних або обов'язкових заходів з метою запобігання, усунення, зменшення навантажень на довкілля, а також внаслідок втрат продуктивності та незворотних втрат енергії, сировини і матеріалів
	Екологічні витрати підприємства – витрати на покриття негативних зовнішніх ефектів, які виникають внаслідок добровільних чи обов'язкових природоохоронних заходів, з метою запобігання, усунення чи зменшення навантажень на довкілля, а також внаслідок втрат продуктивності та незворотних втрат сировини, матеріалів, енергії
Є. В. Мішенін [10, с. 15]	Екологічні витрати – це витрати на природоохоронні заходи, які включають витрати на попередження інтенсивного забруднення навколишнього середовища і на різке зменшення негативного впливу на природу
Е. В. Рюміна [11, с. 43]	Екологічні витрати складаються з двох частин – природоохоронних витрат та економічного збитку від екологічних порушень
К. С. Саенко [12, с. 34]	Екологічні витрати – це витрати на придбання ліцензії на право користування надрами; витрати на освоєння природних ресурсів; плата за негативний вплив на навколишнє середовище; капітальні і поточні витрати природоохоронної діяльності
І. Б. Садовська [13, с. 233]	Екологічні витрати – це сукупність виражених у грошовій формі витрат усіх видів ресурсів підприємства на здійснення екологічних заходів
О. М. Сухіна [14, с. 253]	Екологічні витрати – це екоресурсні платежі (збори), витрати на капітальний ремонт основних виробничих фондів природоохоронного призначення, поточні витрати на охорону та раціональне використання природних ресурсів, в тому числі – поводження з відходами
Ю. Ю. Туниця [15, с. 56]	Екологічні витрати – сукупність витрат і збитків у сфері природокористування та матеріальних благ загалом
Відділ зі сталого розвитку Департаменту економіки та соціальних питань Організації Об'єднаних Націй [16, с. 1]	Екологічні витрати включають як внутрішні, так і зовнішні витрати і торкаються усіх витрат, понесених у зв'язку з нанесенням збитку довкіллю і її захистом

*Джерело: узагальнено автором*

Аналіз поняття “екологічні витрати” показав, що “екологічні витрати” поєднує в собі і витрати на охорону, відтворення, використання навколишнього природного середовища, і на попередження наслідків шкідливого впливу, і на підтримку якості навколишнього природного середовища, природо-ресурсного потенціалу, і на впровадження системи екологічного менеджменту.

О. М. Колівешко наводить наступну структуру екологічних витрат, які відображаються в системі бухгалтерського обліку (рис. 6.2). До цієї структури доцільно ввести витрати пов’язані зі штрафними санкціями за порушення екологічного законодавства.

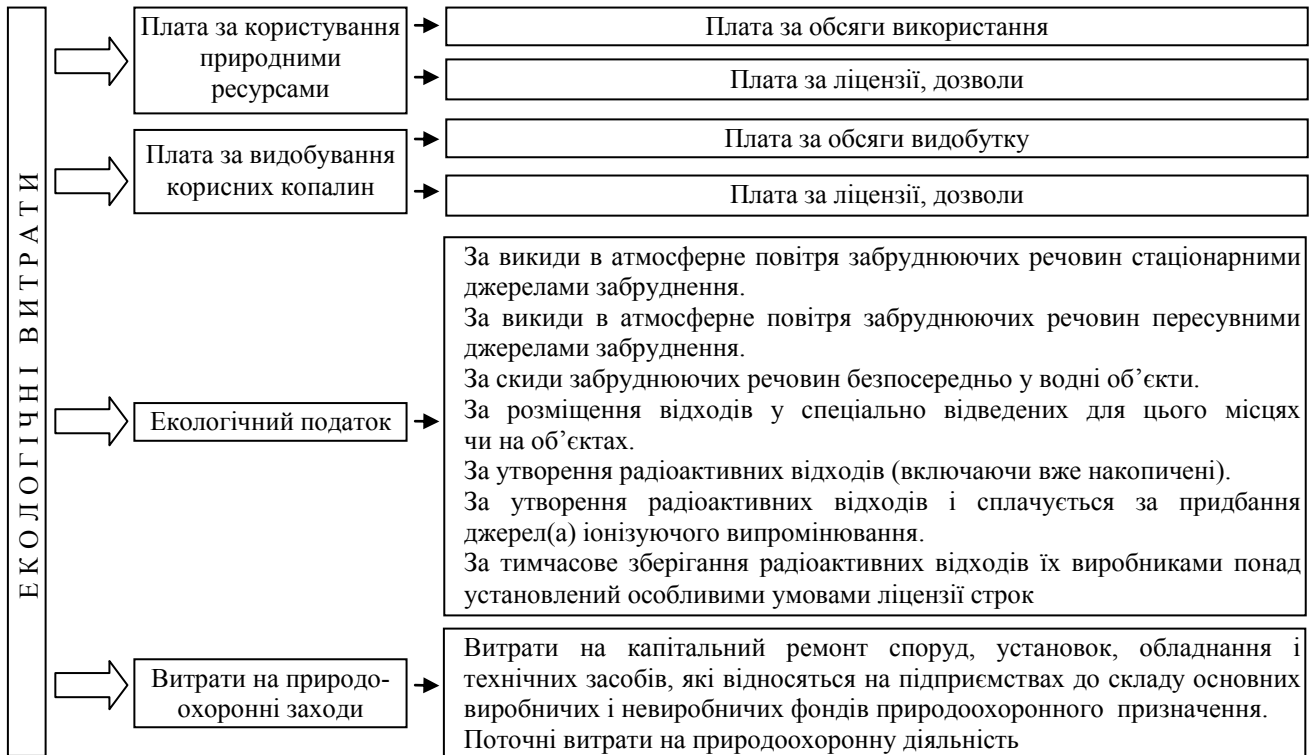


Рис. 6.2. Структура екологічних витрат підприємства

*Джерело: [7, с. 131]*

Відображення в бухгалтерському обліку промислового підприємства витрат, пов’язаних з його екологічною діяльністю та енергозбереженням, дозволить формувати інформацію для налагодження управління екологічними витратами підприємства і оприлюднення її з метою інформування зовнішніх користувачів інформації про результати такої діяльності, це є одним з чинників формування позитивного ділового іміджу підприємства.

Кредитори значну увагу приділяють результатам екологічної діяльності суб’єктів господарювання. Так, для отримання кредитів на пільгових умовах за програмою Європейського банку реконструкції та розвитку (ЄБРР) у 2008 р. Укрсиббанк однією з вимог до клієнтів висував відповідність екологічним вимогам ЄБРР, а також обов’язковість проведення аналізу екологічних ризиків бізнесу позичальника [6, с. 68].

До чинників, що впливають на необхідність здійснення екологічного обліку можна віднести:

- загальне збільшення витрат на природоохоронну діяльність у всьому світі;
- постійне збільшення фінансових санкцій за порушення екологічного законодавства;
- постійна екологізація суспільства.

Відповідно до сучасних умов бухгалтерський облік повинен інтегрувати в собі процеси ідентифікації, виміру та комунікації інформації пов’язаної з екологією. Це дозволить менеджерам підприємства приймати управлінські рішення, що гарантують запобігання екологічним ризикам; зовнішнім користувачам надасть інформацію щодо діяльності підприємства у екологічній сфері. Рациональна організація обліку екологічних витрат складається з системи елементів і способів оптимальної побудови облікового процесу метою якої є отримання і надання достовірної, оперативної, аналітичної і якісної інформації для управління екологічними витратами.

Узагальнена модель облікового відображення екологічних витрат підприємства (табл. 6.2).



Таблиця 6.2

## Схема облікового відображення операцій пов'язаних з екологічними витратами підприємства

Зміст господарської операції	Бухгалтерський облік		Примітки
	Дебет	Кредит	
Придбання права користування природними ресурсами	92	121	Плата за користування природними ресурсами
Отримано ліцензію на право користування надрами	154	685	Плата за видобування корисних копалин
Придбання основних засобів природоохоронного призначення	152	631	Витрати на природоохоронні заходи
Списано на витрати вартість капітального ремонту споруд, установок, обладнання і технічних засобів природоохоронного призначення	93	631	
Списано на витрати створення відділу екологічного менеджменту	791	92, 94	
Отримані результати від проведених робіт щодо стану навколишнього середовища	941	631	
Списано на витрати вартість перероблення або утилізації відходів	92	631	
Екологічні зобов'язання з екологічного податку	95	641	Екологічний податок
Нараховано фінансові санкції за порушення екологічного законодавства	948	641	Витрати пов'язані зі штрафними санкціями за порушення екологічного законодавства

Джерело: авторська розробка

Отже, необхідність ведення бухгалтерського обліку екологічних витрат промислових підприємств пов'язана з наступними чинниками:

- операції, пов'язані з екологічними витратами промислового підприємства, а також їх вплив на фінансові результати, повинні бути відображені в бухгалтерському обліку;
- інвесторам і кредиторам потрібно володіти інформацією про екологічну діяльність підприємства для прийняття рішень щодо побудови з ним економічних зв'язків;
- підприємства можуть мати переваги у конкурентній боротьбі за покупців, якщо зможуть показати, що їх товари та послуги кращі з екологічної точки зору;
- бухгалтерський облік екологічних витрат є засобом досягнення стійкого розвитку.

## 6.2. Роль біомаси для досягнення глобальних та національних цілей зі зниження викидів парникових газів

© Гелетуха Г. Г.

*к.т.н., ст.н.с., Інститут технічної теплофізики НАН України, м. Київ, Україна*

© Олійник Є. М.

*н.с., Інститут технічної теплофізики НАН України, м. Київ, Україна*

© Зубенко В. І.

*н.с., Інститут технічної теплофізики НАН України, м. Київ, Україна*

Збереження навколишнього природного середовища та зменшення викидів парникових газів є ключовими проблемами світової спільноти. Для вирішення цих проблем за останнє десятиліття було прийнято ряд міждержавних документів та кліматичних угод, які закріпили за Україною екологічні зобов'язання щодо скорочення викидів парникових газів. Одним з найважливіших кроків на шляху досягнення цілей є нарощування потужностей відновлюваної енергетики, зокрема широке залучення сільськогосподарської біомаси для виробництва енергії.

З екологічної точки зору біомасою є сполуки на основі вуглецю (органічні сполуки), які утворилися під дією сонячного випромінювання у процесі фотосинтезу. Під час спалювання біопалива вуглець взаємодіє з атмосферним киснем, утворюючи діоксид вуглецю та воду. Цей процес є циклічним, тому що діоксид вуглецю, що виділився при спалюванні, може знову брати участь у виробництві нової біомаси в процесі фотосинтезу. Отже, енергетичне використання біомаси практично не призводить до накопичення парникових газів в атмосфері.

Біомаса як паливна сировина є вуглецево-нейтральною. Однак виробництво палива з біомаси пов'язано з додатковими витратами енергії та шкідливими викидами, що знижує екологічний ефект використання біомаси. Питомі викиди парникових газів від спалювання біомаси значно нижчі, порівняно з викидами від викопного палива (вугілля, нафти та природного газу). Особливо помітна різниця у викидах під час виробництва тепла та електроенергії (табл. 6.3).

**Питомі викиди парникових газів, г CO<sub>2-екв</sub>/МДж**

Найменування	Виробництво електричної енергії	Виробництво теплової енергії
Тверда біомаса	20 – 40	0 – 20
Біогаз	20 – 60	–
Когенерація на біомасі	10 – 20	
Вугілля	300 – 500	120 – 150
Нафта	200 – 300	90 – 120
Природний газ	100 – 200	60 – 80

*Джерело: [13, с. 27]*

Необхідно пам'ятати, що крім викидів парникових газів у повітря, енергетичне використання біомаси може спричиняти забруднення водойм та ґрунту.

У світі з ростом індустріального виробництва та виробництва все більшої кількості товарів та продуктів продовжується ріст споживання енергії. Як наслідок, відбувається інтенсивне вичерпування запасів викопних видів палива та зростання викидів парникових газів, які за оцінками експертів можуть призвести до зростання глобальної температури на 6°C протягом наступного століття.

За останні 40 років світове споживання енергії подвоїлось. При цьому значний ріст споживання енергії припадає на країни, що розвиваються та не входять до міжнародної Організації економічного співробітництва і розвитку (ОЕСР). Такі тенденції призвели до збільшення викидів парникових газів, які асоціюються з виробництвом енергії і в загальному балансі складають дві третини від усіх світових викидів.

Для запобігання цьому в 1997 р. було прийнято Кіотський протокол, до якого (станом на листопад 2009 р.) приєдналися 192 країни, відповідальні за 64 % викидів парникових газів у світі. Незважаючи на зусилля багатьох країн з реалізації Кіотського протоколу, їх було недостатньо для запобігання глобальній зміні клімату, оскільки викиди продовжують зростати.

В таких умовах потрібні принципово нові сценарії розвитку енергетики, які були представлені Міжнародним енергетичним агентством (МЕА) в 2012 р. [15, с. 31]. МЕА запропонувало три сценарії розвитку подій, які базуються на ймовірних масштабах розвитку перспективних кліматичних технологій, що приводять до скорочення викидів ПГ та пов'язані з виробництвом енергії.

Перший сценарій, який називається 6°C (6DS), передбачає звичайний розвиток подій, який призведе до подвоєння споживання енергії та відповідного збільшення викидів ПГ (рис. 6.3). Другий сценарій, який отримав назву 4°C (4DS), передбачає пріоритетний розвиток енергоефективних технологій, який приведе до скорочення споживання енергії. Як результат цього, викиди парникових газів від споживання енергії повинні зрости не більше ніж на 27 % порівняно з 2009 р., а загальне зростання температури на Землі не повинно перевищити 4°C. Третій сценарій, який називається 2°C (2DS), передбачає трансформацію споживання енергії та інтенсивний розвиток відновлюваних джерел енергії (ВДЕ), що має привести до майже подвійного скорочення викидів від рівня 2009 р.

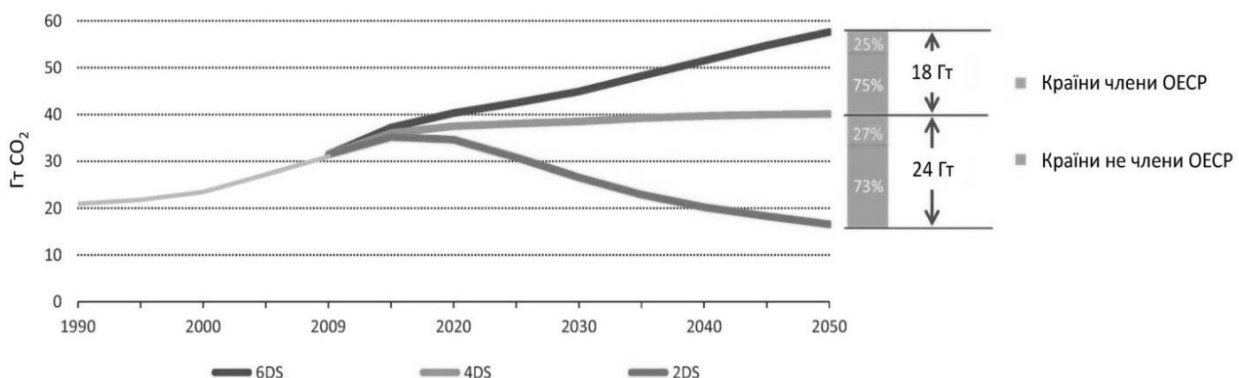


Рис. 6.3. Шляхи скорочення емісії CO<sub>2</sub> за сценаріями МЕА

*Джерело: [15, с. 31]*

Очевидно, що третій сценарій реалізувати складніше всього. Однак він єдиний дозволяє стримати ріст глобальної температури на рівні 2°C та досягти кількості викидів, які не перевищують викиди 1990 р. Консервативну версію цього сценарію, що узгоджується зі світовою енергетичною політикою, було прийнято як основну ціль Паризької кліматичної угоди, що укладена шляхом консенсусу 195 країнами – Сторонами Рамкової конвенції ООН зі зміни клімату у грудні 2015 р. та з 2020 р. має

замінити Кіотський протокол. Головною відмінністю Паризької угоди від прогнозів МЕА є ціль утримання зростання середньої світової температури значно нижче 2°C від доіндустріальних рівнів та спрямування зусиль на обмеження зростання температури до 1,5°C від доіндустріальних рівнів, оскільки це значно зменшить ризики зміни клімату. Станом на серпень 2017 р. Паризьку кліматичну угоду ратифікували 160 країн світу, включаючи Україну та країни Європейського союзу (ЄС).

Для досягнення поставленої цілі передбачається інтенсивне реформування всіх секторів світової економіки, зокрема тих, що пов'язані зі споживанням енергії. При цьому основні скорочення емісії парникових газів досягатимуться за рахунок переходу на використання відновлюваних джерел енергії, які в загальному світовому балансі викидів повинні досягти частки 29 %. З них частка біомаси, за прогнозами МЕА, повинна становити не менше 60 % (рис. 6.4).

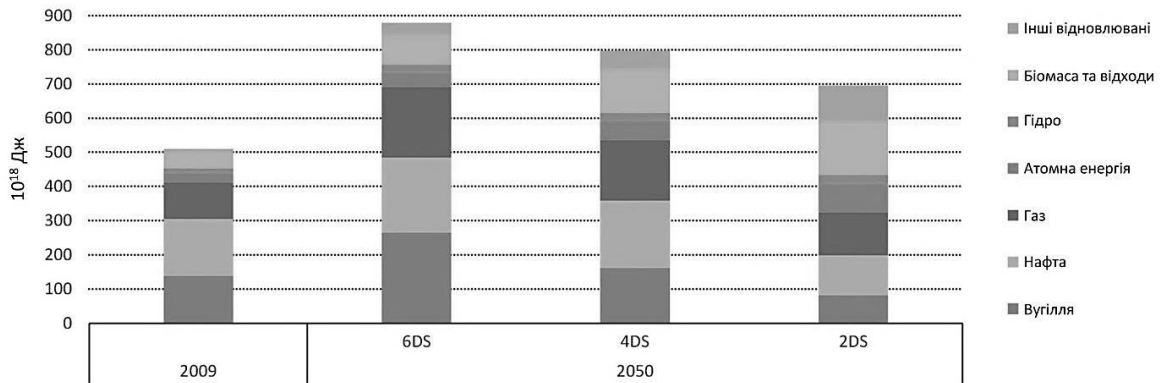


Рис. 6.4. Структура загального первинного постачання енергії за сценаріями МЕА  
Джерело: [15, с. 31]

Для того, щоб в подальшому дотримуватися сценарію зміни клімату 2DS, ще у 2011 р. ЄС підтвердив свою офіційну мету щодо зниження емісії парникових газів у 2050 р. на 80 – 95 % порівняно з показниками 1990 р. (рис. 6.5). Оскільки сектор енергетики є одним з основних джерел викидів ПГ в ЄС, то й головні резерви щодо зменшення цих викидів мають бути знайдені та реалізовані саме в ньому, де очікуване скорочення викидів має досягати від 93 до 99 % у 2050 р.

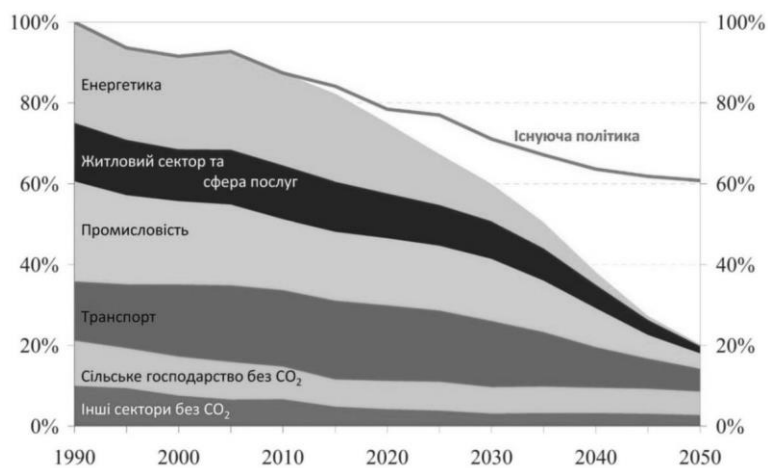


Рис. 6.5. Шляхи зниження емісій парникових газів до рівня 80 % порівняно з 1990 р. (100 % відповідає рівню емісії 1990 р.)

Джерело: [15, с. 31]

З огляду на це, Європейська Комісія розробила Дорожню Карту з енергетики до 2050 р. [14], в якій подано аналіз як саме можна досягти поставленої цілі щодо зменшення емісії, забезпечуючи при цьому надійність та конкурентоспроможність систем енергопостачання.

В цій Карті розглянуто п'ять можливих сценаріїв досягнення поставленої цілі щодо скорочення викидів парникових газів. При цьому у найбільш ймовірних сценаріях “Енергоефективність” та “Відновлювані джерела енергії” саме за рахунок відновлюваних джерел передбачається найбільший внесок у кінцеве енергоспоживання, частка якого має збільшитися, згідно із вказаними сценаріями, до 64 % та 97 % відповідно. Серед ВДЕ найбільший внесок буде давати біомаса, велику кількість якої планується використовувати для виробництва тепла та електроенергії, а також для виробництва палива у секторі транспорту.

У 2014 р. Європейська Комісія також представила нову Рамкову стратегію ЄС щодо енергетичної політики та протидії змінам клімату до 2030 р., за якою країни-члени ЄС взяли на себе зобов'язання щодо зменшення на своїй території викидів парникових газів на 40 % від рівня 1990 р., а також збільшення частки відновлюваних джерел щонайменше до 27 % у структурі загального енергоспоживання країн-членів ЄС, що значно перевищує поставлені раніше цілі, закріплені в Енергетичній стратегії ЄС до 2020 р.

Слідом за ЄС у 2014 р. уряд США затвердив власну Всеосяжну енергетичну стратегію [16], ключовим елементом якої є розвиток відновлюваних джерел (в основному сонця, вітру, геотермальної енергії та біомаси) переважно в галузі виробництва електроенергії. Згідно цієї Стратегії в результаті викиди на електростанціях США мають зменшитись на 32 % до 2030 р, що досягатиметься за рахунок майже потрійного нарощування виробництва електроенергії з відновлюваних джерел – до 20 % у 2030 р.

Незважаючи на існуючу офіційну Стратегію США, окремі штати, наприклад Каліфорнія, мають своє бачення майбутнього розвитку регіону та планують перейти на 100 % відновлюваної енергії.

Найбільші викиди ПГ до сьогодні генеруються в Китаї, де відбувається досить інтенсивний розвиток сектора енергетики. Декілька років тому МЕА було розроблено сценарій розвитку енергетики Китаю, який враховував офіційні цілі, прийняті до середини 2014 р. За рахунок зміни структури виробництва електроенергії планувалось досягнути скорочення питомих викидів більше ніж наполовину порівняно з 1990 р. Передбачалось досягнення цілей шляхом стриманого розвитку виробництва електроенергії на основі використання викопних палив та нарощування потужностей за рахунок інтенсивного впровадження відновлюваних джерел. Виробництво електроенергії з вугілля зростатиме більше, ніж у будь-якій іншій країні світу, але частка вугілля в загальній структурі електрогенерації значно зменшиться: з 76 % у 2012 р. до 52 % у 2040 р. Країна послідовно сприятиме виробництву електроенергії з відновлюваних джерел (з 3 % у 2012 р. до 16 % у 2040 р., крім гідроенергетики), з атомної енергії (з 2 % у 2012 р. до 10 % у 2040 р.) та природного газу (з 2 % у 2012 р. до 8 % у 2040 р.).

У 2015 р. на саміті з проблем зміни клімату в Парижі уряд Індії анонсував власну енергетичну стратегію. Крім запланованої цілі щодо зниження емісії парникових газів на 33 – 35 % у 2030 р. порівняно з 2005 р., стратегія Індії передбачає додаткове уловлювання вуглецю об'ємом 2,5 – 3 млрд т CO<sub>2</sub>. Загальне зниження емісії парникових газів досягатиметься як за рахунок нарощування встановлених електричних потужностей на відновлюваних джерелах, частка яких має зрости до 40 % у 2030 р., так і за рахунок нарощування покриву лісів до 2030 р.

Щодо України, то в грудні 2016 р. урядом затверджена “Концепція реалізації державної політики у сфері зміни клімату на період до 2030 року” [11]. Метою Концепції є вдосконалення державної політики у сфері зміни клімату для досягнення сталого розвитку держави, створення правових та інституційних передумов для забезпечення поступового переходу до низьковуглецевого розвитку за умови економічної, енергетичної та екологічної безпеки і підвищення добробуту громадян.

Перехід до низьковуглецевого розвитку держави передбачається здійснювати шляхом:

– зниження енергоємності валового внутрішнього продукту відповідно до “Стратегії сталого розвитку “Україна – 2020”;

– розширення плану заходів з підвищення енергоефективності відповідно до “Національного плану дій з енергоефективності на період до 2020 року”;

– підвищення частки енергії, виробленої з відновлюваних джерел енергії в загальній структурі енергоспоживання держави відповідно до “Національного плану дій з відновлюваної енергетики на період до 2020 року”;

– збільшення обсягу поглинання парникових газів шляхом здійснення заходів у сфері лісового господарства та землекористування.

На даний час розглядається проект стратегії низьковуглецевого розвитку до 2050 р. Стратегія розглядає кілька сценаріїв розвитку орієнтуючись на довгострокові перспективи зменшення викидів парникових газів завдяки комплексному розгляданню таких заходів як підвищення енергоефективності з впровадженням відновлюваних джерел енергії та модернізація виробництва. Через процеси старіння лісостанів в Україні у перспективі очікується поступове зменшення їх поглинаючої здатності. За умови збільшення рівня лісистості країни до 19,4 % та впровадження прогресивних управлінських рішень обсяги поглинання парникових газів лісами у 2050 р. складатимуть до 85 % від рівня 1990 р.

В Україні питомі показники використання енергетичних ресурсів загалом і електроенергії зокрема є набагато меншими (4000 кВт-год/особу), ніж у країнах ОЕСР – 8000 кВт-год/особу. В той же час вітчизняний показник ефективності екологічних викидів у 2011 р. перевищував відповідний показник країн ОЕСР у три рази й складав близько 1 кг CO<sub>2</sub>/\$PKC. Згідно економіко-математичного моделювання [8, с. 71], за базовим сценарієм енергозабезпечення України цей показник може значно скоротитись, однак рівня країн ОЕСР у 2050 р. досягнути буде вкрай важко. В то й же час значного успіху в зниженні викидів парникових газів можна досягнути за рахунок використання потенціалу

відновлюваних джерел енергії, де їх частка може досягати 73 – 91 % [9]. Згідно моделювання сценаріїв розвитку переходу на 100 % відновлюваних джерел енергії в Україні [10] основна роль відводиться біомасі та біопаливам – 41 %, вітровій енергії – 20 %, сонячній енергії – 16 %.

У “Енергетичній стратегії України на період до 2035 року” законодавчо закріплені цілі щодо розвитку сектора відновлюваних джерел енергії та скорочення викидів парникових газів в Україні. Цим документом заплановано досягти частки відновлюваних джерел у загальному первинному постачанні енергії 8 % у 2020 р. та 25 % у 2035 р., що відповідає зобов’язанням України, взятим перед Енергетичним Співтовариством.

Згідно Стратегії викиди парникових газів у кінцевому споживанні енергії повинні скоротитися більш ніж на 5 % у 2020 р. та більш ніж на 20 % у 2035 р. порівняно з показниками 2010 р. (табл. 6.4). Цілей щодо скорочення викидів ПГ планується досягти, зокрема, за рахунок зміни структури енергогенеруючих потужностей з використанням екологічно безпечних технологій.

Таблиця 6.4

Основні показники Енергетичної стратегії України до 2035 р.

Індикатор	2015 р.	2020 р.	2025 р.	2030 р.	2035 р.
Частка ВДЕ (включно з гідрогенеруючими потужностями та термальною енергією) у загальному первинному постачанні енергії, %	4	8	12	17	25
Скорочення викидів CO <sub>2-екв</sub> на кінцеве споживання палива, % від 2010 р.	–	> 5	> 10	> 15	> 20

Джерело: [8, с. 59]

Крім того, в Україні схвалений “Національний план скорочення викидів від великих спалювальних установок” [12], в якому представлена послідовність дій щодо суттєвого, але поступового скорочення викидів від теплової генерації.

Відповідно до проекту “Концепції реалізації державної політики у сфері теплопостачання”, поставлено за мету в період 2019 – 2025 рр. досягти 30 % частки використання альтернативних джерел енергії в загальному балансі систем теплопостачання, а в період 2026 – 2035 рр. – до 40 %.

Окремі шляхи досягнення поставлених цілей описані в “Національному плані дій з відновлюваної енергетики на період до 2020 року”. Згідно цього Плану окреслено мету: досягти 11 % відновлюваних джерел енергії у валовому кінцевому споживанні енергії у 2020 році. При цьому тільки в секторі опалення та охолодження передбачається внесок біомаси у розмірі 5000 тис. т н.е./рік, що становитиме 85 % внеску всіх відновлюваних джерел в даному секторі у 2020 р.

Запланований внесок біомаси відповідає заміщенню природного газу в обсязі 6,25 млрд м<sup>3</sup>/рік у секторі теплової енергетики та 0,95 млрд м<sup>3</sup>/рік у секторі електроенергетики (прогнозуючи, що 90 % електричних потужностей на твердій біомасі буде працювати в режимі теплоелектроцентралей – ТЕЦ), що разом мають дати заміщення природного газу в обсязі 7,2 млрд м<sup>3</sup>/рік [6, с. 7]. В результаті, за рахунок біомаси у 2020 р. очікується досягти скорочення викидів парникових газів в обсязі понад 14 млн т CO<sub>2</sub> (рис. 6.6), що складає понад 4 % від загальних викидів в Україні порівняно з показниками 2010 р.

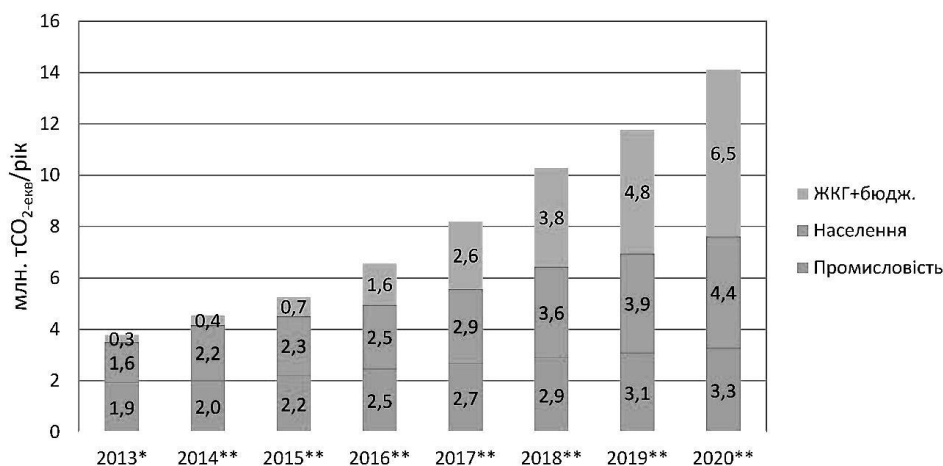


Рис. 6.6. Прогноз скорочення викидів парникових газів за рахунок заміщення природного газу біомасою в Україні, 2013 – 2020 рр.

Джерело: [6, с. 7]

Отже, очікуваний внесок біомаси згідно стратегічних цілей щодо скорочення викидів в секторі опалення та охолодження становитиме не менше 40 %.

Найбільшого скорочення викидів очікується досягти в комунальному секторі, зокрема в результаті поступової відмови від використання природного газу в теплопостачанні та переведення систем опалення на використання біомаси. Потенційно на другому місці за темпами скорочення викидів буде побутовий сектор, в якому теплопостачання може здійснюватись від систем централізованого теплопостачання з ТЕЦ на біомасі, або з використанням індивідуальних котлів на біомасі [4, с. 53 – 54, 5, с. 73].

Енергетичне використання біомаси також може чинити негативний вплив на атмосферне повітря, ґрунти та водойми. Зокрема, це стосується надмірного споживання енергетичних ресурсів у процесі виробництва біомаси, або надмірних викидів забруднюючих речовин та відходів від її спалювання [1; 2].

Під час заготівлі сільськогосподарської біомаси основним екологічним питанням є частка побічних продуктів та решток, яку можна збирати з полів без завдання шкоди родючості ґрунтів. Суттєва частка побічних продуктів повинна залишатися на полі, захищаючи ґрунти від водної та вітрової ерозії, забезпечуючи компенсацію органічних речовин, підтримуючи позитивний баланс гумусу та сприяючи зменшенню випаровувань з поверхні ґрунту.

Для України в цілому з метою виробництва енергії рекомендується використовувати до 30 % загального обсягу утвореної соломи зернових культур та до 40 % побічних продуктів від вирощування кукурудзи та соняшнику [3, с. 25]. Однак для кожного окремого регіону чи агропідприємства оцінка частки побічних продуктів, що використовуються для енергетичних цілей, повинна здійснюватись індивідуально, враховуючи особливості господарської діяльності, стан ґрунтів, а також власні потреби підприємства, пов'язані з рослинництвом та тваринництвом.

Деякі експерти [17] вважають, що якщо на ділянці замість лісу почати вирощувати енергокультури, то викиди будуть більшими. Крім того енергетичні культури не повинні конкурувати з продуктами харчування. В ЄС ці питання досить чітко контролюються за критеріями сталості та розміром частки біомаси, яку можна використовувати для потреб енергетики.

В Україні дещо інша ситуація. В державі налічується 3 – 4 млн га сільськогосподарських земель, що не використовуються, переважно через деградацію та низьку продуктивність. Основними критеріями деградації земель є еродованість (в результаті руйнування водою та вітром), а також надмірне зволоження та заболоченість. Ці землі можна задіяти під вирощування енергетичних культур, зокрема під енергетичну вербу.

Вирощування енергетичної верби забезпечує в 3 – 5 разів нижчий ступінь виснаження ґрунту порівняно з сільськогосподарськими культурами (пшеницею, кукурудзою та соняшником). До того ж вирощування верби сприяє поглинанню вуглекислого газу з атмосфери (в середньому до 50 т CO<sub>2</sub> на 1 га), який перетворюється на вуглець та з опалим листям частково повертається в ґрунт разом з іншими поживними речовинами. Це призводить до збільшення кількості гумусу та збагачення ґрунту мінералами, мікроелементами та речовинами природного походження, внаслідок чого земельні ресурси швидко відновлюватимуться.

Іншою особливістю вирощування верби є те, що вона може поглинати з ґрунту велику кількість води, а тому може рости на заболочених і малопродуктивних (таких, що потребують рекультиватії) землях. В період інтенсивної вегетації плантація верби може забирати 300 – 800 тис. л води з 1 га, залежно від щільності посадки.

В процесі збору, транспортування, зберігання та використання біомаси утворюються додаткові викиди парникових газів, які пов'язані з використанням дизельного палива сільськогосподарською технікою та споживанням електроенергії технологічним обладнанням. Обсяг викидів залежить від типу техніки і технологій, що застосовуються.

Крім того, в місцях заготівлі біомаси джерелами забруднюючих речовин є ділянки подрібнення та перевантаження біомаси, склади палива та ін. Загрозу самозаймання становлять дрібні фракції біомаси та пил, які в значних кількостях можуть утворюватись та накопичуватись у робочих зонах.

В процесі спалювання біомаси утворюються забруднюючі речовини та відходи, які разом із продуктами згоряння потрапляють в атмосферне повітря, або можуть потрапляти в ґрунти та воду.

Одним із відходів, що утворюється в процесі спалювання біомаси, є зола, яка з одного боку є забруднюючою речовиною, а з іншого – потенційним корисним добривом, оскільки містить поживні мінеральні речовини (табл. 6.5), що були поглинуті рослинами з ґрунту в процесі їх вирощування. Зокрема, зола, що отримується при спалюванні деревини, багата на Ca, в той час як зола, що отримується при спалюванні соломи і злакових, має великий вміст K.

Таблиця 6.5

**Хімічний склад золи різних видів біомаси, %**

Вид біомаси	SO <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Mn <sub>3</sub> O <sub>5</sub>
Солома пшениці	3,09	3,26	51,43	0,75	1,18	8,46	2,2	1,17	18,14	NA
Солома кукурудзи (сорт КВС-380)	4,36	3,37	55,9	3,99	4,46	9,45	4,28	1,3	7	0,12
Стрижень кукурудзи (сорт КВС-380)	3,65	1,66	67,36	4,99	5,08	2,8	3,53	0,85	5,75	0,09
Тріска сосни	1,53	3,26	29,95	2,62	5,16	20,29	3,65	0,65	8,15	NA

Джерело: [7, с. 22]

Залежно від місця утворення (в котлі чи в системі очистки димових газів), золу від спалювання біомаси поділяють на три види: подова, циклонна та фільтраційна. Кожний вид золи має свій характерний вміст мінеральних речовин, який залежить від виду палива, його зольності та розміру частинок, а також від способу та місця її утворення. При цьому, з екологічної точки зору, використовувати як добриво можна лише ту золу, що одержана в процесі спалювання біопалива, яке не оброблялось хімічними речовинами (в ґрунт не слід вносити золу, що отримується під час спалювання обробленої деревини).

Головна небезпека золи для навколишнього середовища пов'язана з можливою наявністю важких металів, які містяться в біопаливі (Zn і Cd) та можуть потрапляти в золу. Підвищений вміст важких металів спостерігається переважно у фільтраційній золі в порівнянні з подовою та циклонною (табл. 6.6).

*Таблиця 6.6*

**Середня концентрація важких металів у золі, мг/кг**

Важкі метали	Зола соломи	Зола деревини		
		Подова	Циклонна	Фільтраційна
Cu	30	165	143	389
Zn	140	432	1870	12980
Co	н.д.	6,5	19	17,5
Mo	н.д.	2,8	4,2	13,2
As	н.д.	4,1	6,7	37,4
Ni	5	66	59,6	63,4
Cr	2	325	158,4	231
Pb	9	13,6	57,6	1053,3
Cd	2	1,2	21,6	80,7
V	н.д.	43	40,5	23,6
Hg	0,1	0,01	0,04	1,47

*Джерело: [7, с. 23]*

Суміш подової та циклонної золи, яка утворилася в результаті спалювання необробленого біопалива та має допустимий вміст важких металів, потенційно може бути використана в якості добрива, тоді як фільтраційна зола (яка зазвичай складає лише 10 – 15 % від загальної кількості золи) з високим вмістом важких металів повинна піддаватись утилізації або промисловій переробці.

Отже, значний потенціал біомаси в Україні, а зокрема відходів сільського господарства, має сприяти розвитку сектору виробництва теплової та електричної енергії та заміщенню викопного палива. Ратифікувавши Протокол про приєднання до Енергетичного співтовариства Україна стала офіційним його членом ще у грудні 2010 р. Це означає, що Україна повинна рухатися разом з ЄС в сторону покращення стану довкілля та зменшення антропогенного впливу на оточуюче середовище, в тому числі при енергетичному використанні біомаси.

### **6.3. Забезпечення екологічних вимог при виробництві енергії з біомаси**

© Гелетуха Г. Г.

*к.т.н., с.н.с., Інститут технічної теплофізики НАН України, м. Київ, Україна*

© Антоненко В. О.

*м.н.с., Інститут технічної теплофізики НАН України, м. Київ, Україна*

© Радченко С. В.

*м.н.с., Інститут технічної теплофізики НАН України, м. Київ, Україна*

Серед відновлюваних джерел енергії одним з найбільш перспективних та доступних для використання в Україні є біомаса. Потенціал біомаси в Україні становить близько 30 млн. т у.п./рік. Реалізація вказаного потенціалу через впровадження біоенергетичного обладнання та технологій може привести до заміщення близько 40 % загальнодержавного споживання природного газу. Приклади реалізації комерційно привабливих та екологічно безпечних проектів в країнах Європейського Союзу, які стали на шлях розвитку відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) та за 20 років досягли значного успіху, доводять ефективність даної стратегії. В країнах ЄС ВДЕ складають 12 %, в той час як в Україні цей показник складає лише 0,5 % загального споживання первинних енергоресурсів. Використання біомаси при виробництві енергії дасть змогу частково відмовитися від використання викопного палива на користь місцевих відновлюваних енергоресурсів і додатково зменшить антропогенне навантаження на довкілля.

В той же час, з метою недопущення значного забруднення атмосферного повітря продуктами згоряння, необхідно здійснювати постійний контроль за викидами забруднюючих речовин, вживати заходи і застосовувати пристрої для їх ефективного вловлювання, знешкодження та утилізації, що дозволить дотримуватися встановлених санітарних нормативів допустимого вмісту забруднюючих речовин в атмосферному повітрі.

З огляду на це, на всіх стадіях реалізації проектів енергетичного використання біомаси слід дотримуватися встановлених вимог та нормативів у сфері забруднення атмосферного повітря, ґрунтів та водойм, а також намагатися обирати такі технічні рішення та установки, які зможуть забезпечувати можливе посилення екологічних вимог у майбутньому.

У процесі спалювання біомаси утворюються забруднюючі речовини та відходи, які разом із продуктами згоряння потрапляють в атмосферне повітря або можуть потрапляти в ґрунти та воду. Перелік основних забруднюючих речовини в продуктах згоряння та їх вплив на клімат, навколишнє середовище та здоров'я людей наведений у табл. 6.7.

Таблиця 6.7

**Основні компоненти продуктів згоряння біомаси та  
їх вплив на клімат, навколишнє середовище та здоров'я людей**

Компонент	Джерело утворення	Екологічний вплив
Діоксид вуглецю (CO <sub>2</sub> )	Основний продукт згоряння всіх видів паливної біомаси	Клімат: Газ прямої парникової дії (ГППД), але, оскільки біомаса вважається CO <sub>2</sub> -нейтральним паливом не враховується його вплив на клімат
Оксид вуглецю (CO)	Неповне згоряння всіх видів паливної біомаси	Клімат: Газ непрямой парникової дії (ГНПД), впливає на утворення озону Здоров'я: Може викликати напади задухи у разі накопичення в закритих приміщеннях
Метан (CH <sub>4</sub> )	Неповне згоряння всіх видів паливної біомаси	Клімат: ГНПД, впливає на утворення озону Здоров'я: Може викликати напади задухи у разі накопичення в закритих приміщеннях
Неметанові леткі органічні сполуки (НМЛОС)	Неповне згоряння всіх видів паливної біомаси	Клімат: ГНПД, впливає на утворення озону Здоров'я: Негативний вплив на систему органів дихання людини
Поліциклічні ароматичні вуглеводні (ПАУ)	Неповне згоряння всіх видів паливної біомаси	Навколишнє середовище: Утворення смогу Здоров'я: Канцерогенний вплив
Тверді частки	Сажа та конденсат важких вуглеводнів (дьоготь), що утворюються при неповному згорянні усіх видів паливної біомаси. Золіві частки	Клімат і навколишнє середовище: Зворотний парниковий ефект через утворення аерозолів. Непрямий ефект – можливий значний вміст важких металів у завислих частках Здоров'я: Негативний вплив на систему органів дихання людини
Оксиди азоту (NO <sub>x</sub> = NO + NO <sub>2</sub> )	Побічний продукт згоряння всіх видів паливної біомаси. За певних умов додаткова кількість NO <sub>x</sub> може утворюватися з азоту повітря	Клімат і навколишнє середовище: Непрямий парниковий ефект через вплив на утворення озону. Зворотний парниковий ефект через утворення аерозолів. Кислотні опади. Призводить до загибелі рослинності. Утворення смогу Здоров'я: Негативний вплив на систему органів дихання людини
Закис азоту (N <sub>2</sub> O)	Побічний продукт згоряння всіх видів паливної біомаси, що містять азот	Клімат: ГНПД. Непрямий вплив через руйнування озону в атмосфері
Аміак (NH <sub>3</sub> )	Можливі викиди невеликих кількостей, що утворюються у результаті неповного перетворення NH <sub>3</sub> при піролізі чи газифікації	Навколишнє середовище: Кислотні опади. Призводить до загибелі рослинності Здоров'я: Негативний вплив на систему органів дихання людини. Токсичний
Оксиди сірки (SO <sub>x</sub> = SO <sub>2</sub> + SO <sub>3</sub> )	Побічний продукт згоряння всіх видів паливної біомаси, що містять сірку	Клімат і навколишнє середовище: Зворотний парниковий ефект через утворення аерозолів. Кислотні опади. Призводить до загибелі рослинності. Утворення смогу Здоров'я: Негативний вплив на систему органів дихання людини, викликають астму
Важкі метали	Усі види паливної біомаси містять деяку кількість важких металів, які залишаються в золі або випаровуються	Здоров'я: Накопичуються в харчовому ланцюзі. Можуть бути токсичними або чинити канцерогенний вплив
Хлористий водень (HCl)	Побічний продукт згоряння всіх видів паливної біомаси, що містять хлор	Навколишнє середовище: Кислотні опади. Призводить до загибелі рослинності. Утворення смогу Здоров'я: Негативний вплив на систему органів дихання людини. Токсичний
Поліхлоровані діоксини та фурані (ПХДД/ПХДФ)	Можливі викиди невеликих кількостей, що утворюються під час реакцій за участю вуглецю, хлору й кисню в присутності каталізаторів	Здоров'я: Високотоксичні. Пошкодження печінки. Пошкодження центральної нервової системи. Зниження імунного захисту. Накопичуються в харчовому ланцюзі

Джерело: авторська розробка



Згідно оцінок експертів [10, с. 68] було встановлено, що для України загальний викид шкідливих речовин від спалювання деревного біопалива може бути у 26,6 разів меншим, ніж від спалювання природного газу та в 1882,6 раз меншим, ніж від вугілля.

Об'єкти, що пов'язані з виробництвом теплової та електричної енергії з використанням органічного палива, відносяться до об'єктів, що становлять підвищену екологічну небезпеку. Для таких об'єктів обов'язковою вимогою є розробка проекту з оцінки впливу на навколишнє середовище (ОВНС) [3, с. 20] для стадії будівництва та експлуатації.

Визначення валових викидів забруднюючих речовин може проводитися або через показники емісії, або шляхом прямих вимірювань. Найвищий пріоритет має визначення валових викидів шляхом постійних вимірювань із використанням приладів безперервного моніторингу. За відсутності даних валові викиди розраховуються на основі узагальнених та/або специфічних показників емісії. Специфічний показник емісії відноситься до конкретної установки з урахуванням індивідуальних особливостей спалювання, виду палива та заходів щодо зниження викидів. Специфічний показник може бути визначений на основі результатів еколого-теплотехнічних випробувань обладнання.

До основних забруднюючих речовин, що викидаються в атмосферу під час спалювання біомаси, відносяться: речовини у вигляді суспензованих твердих часток, недиференційованих за складом; діоксиди сірки (SO<sub>2</sub>); оксиди азоту (NO<sub>x</sub>); оксид азоту (N<sub>2</sub>O); оксид вуглецю (CO); діоксид вуглецю (CO<sub>2</sub>); метан (CH<sub>4</sub>); неметанові леткі органічні сполуки (НМЛОС).

В ході виконання ОВНС об'єми викидів визначаються як на зрізі димової труби, так і в зоні розсіювання відповідно до показників емісії котлів (за наявності) та/або наявних методик.

Діючі нормативи [9, с. 1 – 5] гранично допустимих викидів забруднюючих речовин для існуючих та нових джерел обмежують масову концентрацію забруднюючих речовин в організованих викидах. Необхідно враховувати клас небезпеки кожної речовини та не перевищувати встановлених значень нормативів гранично допустимих викидів для даного класу небезпеки (табл. 6.8). Варто зауважити, що в Україні відсутня градація гранично допустимих концентрацій викидів забруднюючих речовин, які залежать від потужності обладнання, типу подачі палива і виду твердого палива. В Україні нормальними умовами при спалюванні твердого палива вважаються умови, коли вміст кисню в димових газах складає 6 %, в той час як в країнах ЄС для установок потужністю до 50 МВт допускається 11 % кисню, що відповідає надлишку повітря на рівні 1,4.

*Таблиця 6.8*

**Коди, клас небезпечності, гранично допустимі концентрації, орієнтовні безпечні рівні діяння та гранично допустимі викиди забруднюючих речовин**

Код	Речовина	Клас	ГДК, мг/м <sup>3</sup>	Масова витрата, г/год	Гранично допустимі викиди, мг/м <sup>3</sup>
301	Азоту оксиди NO <sub>x</sub>	3	0,2	≥ 5000	500
330	Ангідрид сірчистий SO <sub>2</sub>	3	0,5	≥ 5000	500
337	Вуглецю оксид CO	4	5	≥ 5000	250
410	Метан CH <sub>4</sub>	–	50	–	–
303	Аміак NH <sub>3</sub>	4	0,2	–	–
316	Хлористий водень HCl	2	0,2	≥ 300	30
328	Сажа	3	0,15	–	–
2902	Тверді частки, недиференційовані за складом	3	0,5	≤ 500	150
				> 500	50

*Джерело: [9, с. 1 – 5]*

Отже, при однаковому граничному рівні в перерахунку на 6 % кисню в Україні екологічні вимоги більш жорсткі ніж в країнах ЄС [4, с. 85].

Як видно з таблиці, гранично допустимі викиди встановлюються лише для тих котелень, масова витрата на яких перевищує нормативні значення, за виключенням викидів твердих часток, які завжди мають відповідати тим чи іншим гранично допустимим нормам.

Окремо для установок потужністю понад 50 МВт діють технологічні нормативи [8], а також окремі технологічні нормативи для котелень, що працюють на лущинні соняшнику [7]. Починаючи з січня 2018 р. для котелень, що працюють на лущинні соняшнику, встановлюються перспективні нормативи, які дещо суворіші від попередніх (табл. 6.9).

Таблиця 6.9

**Поточні та перспективні допустимі викиди забруднюючих речовин для котельень, що працюють на лушпинні соняшнику**

Код	Речовина	Клас	Поточні нормативи (до 31.12.2017 р.)		Перспективні нормативи (після 1.01.2018 р.)	
			Потужність котельні, МВт	Технологічний норматив, мг/м <sup>3</sup>	Потужність котельні, МВт	Технологічний норматив, мг/м <sup>3</sup>
301	Азоту оксиди NO <sub>x</sub>	3	< 50	300	0 – 50	300
330	Ангідрид сірчистий SO <sub>2</sub>	3	< 50	250	0 – 50	250
337	Вуглецю оксид CO	4	< 50	750 <sup>1</sup> 2250 <sup>2</sup>	0 – 50	250
2902	Тверді частки не диференційовані за складом	3	< 50	100 <sup>3</sup>	< 5	100
				600 <sup>4</sup>	5 – 50	50

Примітка: <sup>1)</sup> спалювання у шарі; <sup>2)</sup> спалювання у вихорі; <sup>3)</sup> для електрофільтра; <sup>4)</sup> для циклону.

Варто відмітити, що в стандартах екологічні вимоги до котлів жорстко не регламентовані за потужністю чи видами палива. Котли для твердого палива випускаються з прив'язкою до широкого діапазону викидів за оксидами вуглецю (табл. 6.10). Відзначимо, що у вітчизняній практиці для розрахунків викидів концентрації повинні бути приведені до нормальних умов (температура 273 К, тиск 101,3 кПа).

Таблиця 6.10

**Вимоги до викидів забруднюючих речовин від водогрійних котлів згідно ГОСТ 30735-2001**

Вид палива	Номінальна теплопродуктивність, МВт	Вміст оксидів вуглецю (CO) в сухих нерозбавлених продуктах згорання, мг/м <sup>3</sup>		
		Клас 1	Клас 2	Клас 3
Котли для твердого палива з ручним завантаженням палива				
Деревина, торф	0,1 – 0,3	5000	10000	24000
Котли для твердого палива з механізованим завантаженням палива та механізованою топкою				
Деревина, торф	0,1 – 0,5	2500	4200	24000
	0,5 – 1,0	2200	3700	24000
	1,0 – 4,0	2000	3300	24000

Джерело: [2, с. 9 – 10]

Як правило, виробники котлів не вказують в паспорті обладнання дані про викиди забруднюючих речовин, що може створювати потенційну небезпеку під час експлуатації такого обладнання.

Під час розробки ОВНС оцінку викидів забруднюючих речовин в атмосферу від енергетичних установок здійснюють на основі галузевої методики [6], що базується на спрощеному розрахунковому методі оцінки валових викидів. Як правило, цей метод застосовується за умови відсутності результатів екологічних випробувань котлів та паспортних даних з показниками емісії.

Для розрахунку валових викидів забруднюючих речовин на рівні з методикою використовують також інші додаткові матеріали, що містять показники емісії для ширшого кола технологій, систем очистки та видів палива. Зокрема, в Збірнику показників емісії забруднюючих речовин [5] наведені приклади визначення об'ємів сухих димових газів та методика приведення їх до нормальних умов, елементний склад деяких видів біопалива (солома, стебла бавовнику, костриця льону, лушпиння соняшнику, лушпиння рису, відходи деревини) та їх коефіцієнти емісії залежно від технології спалювання. Нижче наведені основні паливні показники різних видів біомаси, що застосовуються при визначенні емісій (табл. 6.11 – 6.12).

Таблиця 6.11

**Масовий елементний склад та нижча робоча теплота згорання деяких видів палива**

Паливо	C <sup>p</sup> , %	H <sup>p</sup> , %	S <sup>p</sup> , %	O <sup>p</sup> , %	N <sup>p</sup> , %	A <sup>p</sup> , %	W <sup>p</sup> , %	Q <sub>н</sub> <sup>p</sup> , %
Солома	42,7	5,3	0,1	36,9	0,5	4,5	10	15,7
Стебло бавовнику	40	5	0,1	36	0,5	3,4	15	14,53
Костриця льняна	43,5	5,4	0,1	36,6	0,5	2,9	11	15,93
Лушпиння соняшника	42,5	4,9	0,16	34,6	0,44	2,4	15	15,43
Лушпиння рису	35,4	4,3	0,1	30,2	0,5	19,5	10	18,67
Відходи деревини	34,6	4,2	0	30,1	0,4	0,7	30	12,3

Джерело: [5]

Відхилення якості палива та технічних характеристик обладнання, що використовує біомасу, від розрахункових, а також незадовільні режими експлуатації установок не завжди дозволяють дотримуватися встановлених екологічних вимог, зокрема при виконанні інвентаризації викидів та отриманні відповідних дозволів.

Таблиця 6.12

## Узагальнені показники емісії

Вид палива	NO <sub>x</sub> , г/ГДж	CH <sub>4</sub> , <sup>1)</sup> г/ГДж	N <sub>2</sub> O, г/ГДж	C, <sup>1)</sup> г/ГДж	CO, г/ГДж	НМЛЮС, г/ГДж
Солома	88	9	5	27200	120	50
Костриця льняна	88	9	5	22790	120	50
Лушпиння соняшника	88	9	5	22220	120	50
Відходи деревини	200	5	4	28130	195	45

<sup>1)</sup> не залежить від технології спалювання, для всіх інших – спалювання в нерухомому шарі

Джерело: [5]

Експлуатація об'єктів, викиди забруднюючих речовин від яких перевищують гранично допустимі норми, заборонена, а юридичні та фізичні особи підлягають адміністративній відповідальності за порушення діючого законодавства і мають вносити плату за обсяг викидів забруднюючих речовин та додатково сплачувати штрафи за перевищення дозволених обсягів викидів. У зв'язку з цим виникає необхідність застосовувати методи для зменшення вмісту забруднюючих речовин у продуктах згоряння з метою технічного забезпечення екологічних вимог. Ці методи принципово поділяються на дві групи:

Первинні методи, що являють собою організаційно-підготовчі та режимні заходи, що спрямовані на підготовку палива та організацію процесу спалювання в топковій камері, в тому числі конструктивні рішення котлів.

Вторинні методи, що являють собою технічні заходи щодо зменшення концентрації утворених забруднюючих речовин у димових газах шляхом застосування спеціалізованого газоочисного обладнання.

Найбільш розповсюдженим є комплексне застосування різних методів, що поєднують у собі низку заходів із забезпечення:

- якісних вимог до складу палива (вологість, зольність, розмір та інше);
- вибору спеціального обладнання, призначеного для використання палива;
- встановлення додаткового газоочисного обладнання та виконання режимно-налагоджувальних та теплотехнічних випробувань, що забезпечують найкращі екологічні показники роботи теплотехнічного обладнання.

Енергетичне використання біомаси в порівнянні з вугіллям має суттєві переваги через значно кращі показники по викидам забруднюючих речовин. Разом з тим, деякі питомі викиди забруднюючих речовин від спалювання біомаси, зокрема викиди твердих частинок, перевищують гранично допустимі концентрації, що вимагає застосування додаткових системи очищення та методів впливу на процес спалювання.

Оксиди азоту (NO<sub>x</sub>) утворюються переважно шляхом окислення азотовмісних сполук, наявних у паливі, а також внаслідок окислення атмосферного азоту в умовах високої температури в топці котла. Для зменшення їх кількості, в першу чергу, застосовують первинні методи, що пов'язані з належною підготовкою палива, зменшенням температури в камері згоряння, оптимізацією коефіцієнта надлишку повітря, рециркуляцією продуктів згоряння, вприскуванням води та багатоступеневою подачею повітря, з яких останній є найбільш поширеним.

Первинні методи зниження оксидів азоту є менш витратними, однак характеризуються низькою ефективністю і мають ряд недоліків, що пов'язані з необхідністю встановлення додаткових інженерних систем, збільшенням витрат на власні потреби та збільшенням хімічного недопалу. При цьому може спостерігатися зниження коефіцієнта корисної дії (ККД) котла та складності з регулюванням технологічних процесів.

У зв'язку з цим для потужних установок (ТЕЦ і ТЕС) зі значними викидами оксидів азоту можуть застосовуватися вторинні методи, до яких відносяться заходи хімічного очищення димових газів, а саме: окислення оксидів азоту з наступним поглинанням отриманих продуктів, відновлення з використанням каталізаторів та поглинання за рахунок спеціальних сорбентів.

Наявність оксиду вуглецю (CO) в продуктах згоряння вказує на неповне згоряння палива в топці котла. Зменшення викидів оксиду вуглецю, як і інших продуктів хімічного недопалу біомаси (сажі, вуглеводневих сполук), також можливо здійснювати первинними методами, які зазвичай включають оптимізацію конструкції топки та режиму горіння.

Розділення потоку дуттьового повітря на первинний та вторинний із подачею вторинного повітря в зону догорання палива, позонне регулювання кількості повітря, оптимізація розмірів колосникової решітки та способу подачі палива, його подрібнення, попереднє підсушування до вологості 15 – 20 % і запобігання перевантаженню топки – все це дає можливість скоротити викиди продуктів хімічного недопалу біомаси.

Зокрема, правильне налаштування подачі повітря з розподілом його вздовж решітки відповідно до розподілу палива дозволяє значно покращити ефективність згорання та знизити викиди оксиду вуглецю (CO) в котлах.

Наявність викидів оксидів сірки та хлористих сполук у продуктах згорання залежить від кількості сірки та хлору в біомасі. Зокрема, підвищений вміст хлору властивий соломі, яка поглинає його з ґрунту внаслідок внесення мінеральних добрив. В процесі спалювання соломи утворюються проміжні продукти у вигляді хлористих сполук, взаємодія яких за певних умов може привести до утворення діоксинів, токсичних фосгенів (COCl<sub>2</sub>) та хлороводневих сполук (HCl). Причиною цього є значна хімічна активність хлору та його властивість приєднуватись до ненасичених сполук, таких як оксид вуглецю (CO).

Єдиним практично прийнятним способом зменшення викидів оксидів сірки та хлористих сполук в умовах котелень є використання первинних методів, що передбачають організаційно-підготовчі заходи, спрямовані на вибір палива з мінімально можливим вмістом сірки та хлору. Наприклад, у свіжій соломі вміст хлору відносно маси може досягати 0,8 %. В той же час для злежаної соломи вміст хлору може знижуватися до 0,2 %.

Винос твердих часток із продуктами згорання пов'язаний з наявністю легкої золи, яка являє собою частину золотого залишку, що знаходиться в завислому стані. Цей вид золи осідає на поверхнях нагріву котла, накопичується в золотих бункерах та частково потрапляє в продукти згорання у вигляді твердих часток, що викидаються в атмосферу. Вміст твердих часток у продуктах згорання істотно залежить від виду палива, його зольності та технології спалювання біомаси.

Для очистки продуктів згорання від твердих часток застосовують вторинні методи, які передбачають використання систем газоочистки, таких як циклони та мультициклони, скрубери, рукавні фільтри та електрофільтри.

Циклони являють собою механічні сепаратори, в яких тверді частки відокремлюються від потоку димових газів внаслідок дії відцентрової сили. Секції циклонів, що працюють паралельно, об'єднують у мультициклони, що дозволяє зменшувати розміри апаратів та підвищувати ефективність очистки. Зокрема, якщо ефективність очистки для циклонів становить близько 65 %, то для мультициклонів її значення може досягати 95 %.

Основним недоліком циклонів та мультициклонів є незадовільний рівень очищення димових газів, зокрема для дрібних фракцій розміром менше 1 мкм. Для уловлювання та видалення цих часток ефективнішими є мокрі скрубери, в яких використовують воду, що зв'язує дрібні фракції. Аналогічна технологія застосовується в конденсаційних економайзерах, які не лише здатні підвищувати ККД котла внаслідок використання теплоти конденсації, а й очищати димові гази від твердих часток.

Очищення за допомогою рукавного фільтра базується на використанні в апараті спеціальної фільтрувальної тканини, яка за умови правильного вибору та проектування установки дозволяє досягти ефективності очистки до 99 %, в тому числі для часток дуже дрібної фракції (з розміром частинок менше 1 мкм).

Досвід експлуатації таких газоочисних систем показує, що є ризик загорання тканини від незгорілих частинок, які можуть попадати у фільтр. Незважаючи на можливість контролювати ризик займання, на великих котлах це майже не застосовується через відсутність штатних співробітників протягом усього часу експлуатації установки. Крім того, існує ризик забивання чи зношення фільтрувальної тканини, а тому ці апарати вимагають постійного контролю та обслуговування. Із вказаних вище причин тканинні фільтри не рекомендуються для використання в невеликих котлах на біомасі.

Альтернативою рукавних фільтрів є електрофільтри, у яких тверді частинки відділяються від потоку димових газів в електричному полі коронного розряду. Процес вилучення твердих частинок відбувається за допомогою коронуючого електрода шляхом створення електричного заряду на поверхні частинки, що дозволяє осадити цю частинку на заземленому електроді з протилежним зарядом.

Дані апарати газоочистки є надзвичайно ефективним (98 – 99,5 %), причому їх ефективність майже так само висока для частинок розміром від 1 мкм та менше. За ступенем уловлювання електрофільтр відповідає кращим рукавним фільтрам, а його аеродинамічний опір є досить низьким порівняно з останніми. Суттєвими недоліками електрофільтрів є значні капітальні витрати та складність експлуатації, тому установка цих газоочисних систем є економічно доцільною для котлів на біомасі потужністю 5 МВт і більше.

Отже, встановлення системи газоочистки є складним та відповідальним інженерним заходом, що визначає екологічність та надійність роботи котельної установки. Вибір типу та характеристик системи газоочистки визначається на основі масової витрати димових газів ( $\text{м}^3/\text{год.}$ ) та початкової і кінцевої концентрації твердих часток ( $\text{мг}/\text{м}^3$ ), що мають задовольняти значенням гранично допустимих викидів забруднюючих речовин в атмосферу. Зокрема, для котлів на біомасі рекомендується використовувати двоступеневу систему очистки на основі циклонів та рукавних фільтрів або електрофільтрів, залежно від потужності установки.

У табл. 6.13 наведено узагальнені дані щодо ефективності очистки різних газоочисних систем.

Таблиця 6.13

Типова ефективність різних газоочисних систем

Найменування газоочисної системи	Загальна ефективність очистки, %	Ефективність очистки для твердих часток різних розмірів, %					Аеродинамічний опір, Па	
		10 мкм	2 мкм	1 мкм	0,5 мкм	0,1 мкм	мін.	макс.
Циклон	60	90	40	30	10	1	498	1993
Мультициклон	65 – 95	95	60	50	20	1	498	1993
Скрубер Вентурі	87	99,6	99,6	96	90	24	1245	14946
Рукавний фільтр	98	99,9	99,9	99	97	95	996	2491
Електрофільтр	98 – 99,5	99,9	98	97,5	97	95	125	996

*Джерело: узагальнено авторами*

Впровадження відповідних заходів та додавання системи очистки димових газів призводять до зростання вартості як самого котла, так і котельні в цілому. Ціна котла визначається переважно заводом-виробником залежно від конструктивних особливостей, використаних матеріалів та оснащення. До складу ціни котла також входять первинні заходи зі зниження викидів забруднюючих речовин в атмосферу. Тому, як правило, дорожчі котли характеризуються кращими екологічними показниками.

Витрати на додаткові системи очистки визначаються в залежності від обсягу утворення димових газів та питомої вартості газоочисного обладнання. Обсяг утворення димових газів при спалюванні різних видів біомаси в умовах, що наближені до нормальних ( $6\% - \text{O}_2$ ,  $\alpha = 1,4$ ), та температурі відхідних газів  $200^\circ\text{C}$  складає  $3 - 3,5 \text{ м}^3/\text{год.}/\text{кВт}$ . Типова вартість газоочисного обладнання складає приблизно:  $275 \text{ євро}/\text{тис. м}^3$  (діапазон  $250 - 300 \text{ євро}/\text{тис. м}^3$ ) для циклонів;  $550 \text{ євро}/\text{тис. м}^3$  (діапазон  $500 - 600 \text{ євро}/\text{тис. м}^3$ ) для мультициклонів;  $6000 \text{ євро}/\text{тис. м}^3$  (діапазон  $4000 - 7000 \text{ євро}/\text{тис. м}^3$ ) для рукавних фільтрів;  $10000 \text{ євро}/\text{тис. м}^3$  (діапазон  $7000 - 12000 \text{ євро}/\text{тис. м}^3$ ) для електрофільтрів. При цьому залежно від обсягів утворення димових газів та потужності викиду (масової витрати забруднюючої речовини) можуть застосовуватись багатоступеневі газоочисні системи, в яких на першому ступені встановлюється циклон чи мультициклон, а на другому – більш ефективний пристрій (рукавний фільтр або електрофільтр) [1].

Отже, вимоги українського екологічного законодавства в сфері енергетичного використання біомаси є близькими до європейських, тому для їх забезпечення необхідно використовувати спеціальні технології та обладнання. Найбільш небезпечними є викиди оксидів вуглецю, окислів азоту та твердих часток. Основними технічними заходами по зменшенню негативного впливу на оточуюче середовище є контроль режимних параметрів та використання газоочисного обладнання.

#### 6.4. Енергетичні властивості біомаси та економічна ефективність виробництва теплової енергії

© Гелетуха Г. Г.

*к.т.н., с.н.с., Інститут технічної теплофізики НАН України, м. Київ, Україна*

© Олійник Є. М.

*н.с., Інститут технічної теплофізики НАН України, м. Київ, Україна*

© Зубенко В. І.

*н.с., Інститут технічної теплофізики НАН України, м. Київ, Україна*

Біомаса є перспективним джерелом енергії як у світі, так і в Україні. На даний час біомаса займає четверте місце у світі за обсягами її енергетичного використання. Стале використання біомаси дасть змогу зменшити енергетичну залежність України та забезпечити використання місцевого ресурсного потенціалу. Перехід на використання біомаси буде сприяти розвитку регіонів і місцевої економіки за рахунок надходження податків та зборів, на державному рівні – покращенню торгівельно-платіжного балансу за рахунок зменшення обсягів імпорту енергоносіїв. Соціальний вплив очікується за рахунок створення нових робочих місць, зниження тарифів на теплову енергію та покращення якості і надійності теплопостачання. Велика кількість успішних проектів, що вже впроваджені, державна підтримка та сприяння розвитку біоенергетики стимулюють інвесторів та фінансові організації до реалізації нових біоенергетичних проектів в Україні.

Біомаса – невикопна біологічно відновлювана речовина органічного походження, здатна до біологічного розкладу, у вигляді продуктів, відходів та залишків лісового та сільського господарства (рослинництва і тваринництва), рибного господарства і технологічно пов'язаних з ними галузей промисловості, а також складова промислових або побутових відходів, здатна до біологічного розкладу.

Джерелом біомаси є відходи та залишки сільського господарства, харчової промисловості, відходи заготівлі та переробки деревини, органічні відходи домашнього і житлово-комунального господарства. Для отримання біомаси використовуються також спеціальні однорічні або багаторічні енергетичні культури, що дають швидкий приріст маси на одиницю площі (верба, тополя, міскантус, просо, сорго та ін.).

До основних фізичних та енергетичних характеристик паливної сировини відносять вологість та зольність, нижчу теплоту згорання, насипну щільність, розмір часток та температуру плавлення золи.

Органічне паливо містить: горючі речовини, внутрішній баласт, негорючі мінеральні домішки і вологу (рис. 6.7).

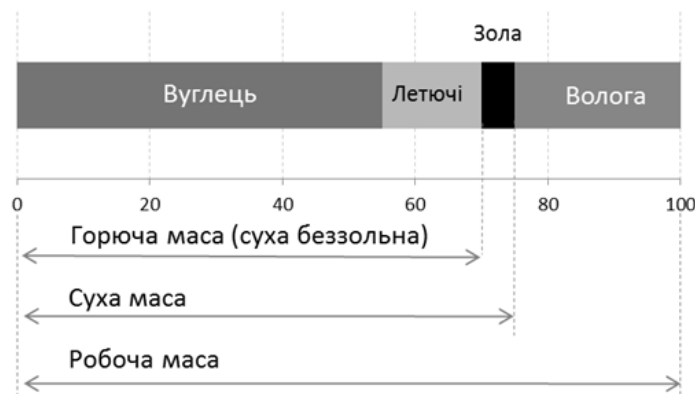


Рис. 6.7. Склад твердого палива

*Джерело: узагальнено авторами*

До горючої частини палива відносяться вуглець С, водень Н, сірка S та їх сполуки. Основне виділення теплоти відбувається за рахунок окислення вуглецю С і горіння водню Н. Чим більше С в твердому паливі, тим складніше воно запалюється.

Сірка S поділяється на органічну  $S_o$  (зв'язану із воднем, вуглецем, азотом), колчеданну  $S_k$  (зв'язану із залізом) і сульфатну. Сірка є найшкідливішою складовою палива, оскільки при її згоранні утворюються ангідриди  $SO_2$  і  $SO_3$ , які агресивно впливають на навколишнє середовище і призводять до низькотемпературної корозії труб хвостових поверхонь котла.

Кисень  $O_2$  і азот  $N_2$  є внутрішнім баластом. Їх вміст зменшує вміст горючих складових палива. Сполуки кисню і азоту з вуглецем і воднем зменшують теплоту згорання палива. Вуглець, водень та кисень, що входять до складу паливної біомаси, є головними компонентами, що беруть участь в реакціях окислення (горіння), які проходять з виділенням теплової енергії та утворенням вуглекислого газу та води. Органічно зв'язаний кисень лише частково покриває потребу для реакцій горіння, а для реакцій повного окислення використовується кисень повітря.

Вологість (W) – це кількісна характеристика, яка показує вміст води, що поділяється на зовнішню, капілярну, колоїдну і гідратну. Вологість палива знижує теплотворну здатність палива й температуру горіння, а тому для підвищення інтенсивності виробництва теплової енергії більш ефективним є використання сухого палива.

Відносно або робочою вологістю деревини називають відношення маси води до маси вологої деревини. Вологість свіжозрубаної деревини залежить від породи, структури деревини і пори року. Вона коливається в широких межах  $W_p = 30 - 55 \%$ . Фактична вологість деревної сировини суттєво міняється протягом зимового та літнього періоду, а також залежить від співвідношення кількості деревини листяних та хвойних порід й частки сухостою в суміші. Вологість соломи в період збору врожаю складає  $8 - 15 \%$  й залежить від способу зберігання, погодних умов та умов зберігання (рис. 6.8).

Зольність (A) – це вміст негорючих елементів в паливі, що входять до сполук оксидів алюмінію, кремнію і заліза, карбонатів та сульфатів магнію, кальцію, заліза. Зольність знижує якість палива, збільшує обсяг утворення золи та забруднення поверхонь нагріву. Вміст золи для різних типів біомаси коливається в широкому діапазоні: від  $0,5 \%$  для деяких видів чистої деревини до  $12 \%$  для деяких видів лушпиння та соломи, що додатково забруднені сторонніми домішками. Середній вміст золи в соломі складає  $4 - 8 \%$ , а в деревному паливі  $1 - 3 \%$ . Вміст золи в паливі впливає на вибір технології спалювання біомаси, вибір обладнання, спосіб видалення золи, а також впливає на емісію твердих часток в димових газах, вибір та розмір системи очистки, обсяги відвалів золи.

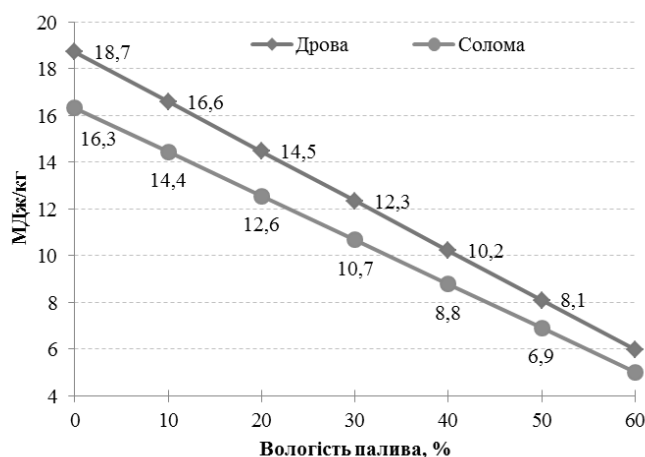


Рис. 6.8. Нижча теплота згорання біопалива в залежності від вологості

Джерело: узагальнено авторами

Теплота згорання палива ( $Q$ ) – це енергетична характеристика палива, що визначає кількість теплоти, яка виділяється при її згоранні. Розрізняють вищу та нижчу теплоту згорання палива. На практиці користуються нижчою теплотою згорання палива, що виділяється при повному окисленні всіх горючих складових палива, без урахування теплоти пароутворення та виносу з золою. Для установок, що використовують теплову енергію конденсації вологи димових газів, слід використовувати вищу теплоту згорання. Теплоту згорання визначають експериментально за допомогою калориметра. Нижчу теплотворну здатність деревного палива можна оцінити розрахунковим методом з урахуванням робочої вологості та зольності.

$$Q_{\text{н}}^{\text{р}} = 18,7 - 0,214 \cdot W^{\text{р}} - 0,189 \cdot A^{\text{р}}, \text{ МДж/кг,}$$

де  $W^{\text{р}}$  – вологість на робочу масу, %;

$A^{\text{р}}$  – зольність на робочу масу.

Середні характеристики тріски з енергетичної верби та тополі щодо вологості та зольності мало відрізняються від аналогічних значень тріски з лісової деревини, разом з тим, біомаса з міскантуса є більш сухою та має суттєво більшу зольність. Біомаса відрізняється високим вмістом вологи (35 – 55 %), відносно низькою теплотворною здатністю (8 – 14 МДж/кг) і низькою насипною щільністю (200 – 350 кг/м<sup>3</sup>) (табл. 6.14).

Таблиця 6.14

#### Паливні характеристики біомаси

Показники	Міскантус	Верба	Тополя	Солома	Деревна тріска
Вологість при збиранні, %	15 – 23	40 – 53	50 – 55	8 – 15	35 – 55
Насипна щільність, кг/м <sup>3</sup>	200 – 220	220 – 300	220 – 300	100 – 180	240 – 350
Нижча теплота згорання, $Q_{\text{н}}^{\text{р}}$ , МДж/кг	14 – 10	10 – 8		15 – 13,5	12 – 8
Елементний склад, %:	–	–	–	–	–
C	38 – 50				
H	4,5 – 6				
Cl	0,04	0,02 – 0,03	0,03 – 0,04	0,14 – 0,97	0,02
N <sup>1)</sup>	0,16 – 1,37	0,5 – 1,0	0,77 – 0,9	0,4 – 0,6	0,3
S	0,28	0,03 – 0,34	0,03 – 0,2	0,05 – 0,2	0,05
Зольність, %	2,3 – 3,7	1,5 – 2	0,5 – 1,9	2 – 8	0,5 – 1,5
Температура плавлення золи, °C	1250 – 1385	>1500	1160 – 1500	850 – 1050	1000 – 1400

<sup>1)</sup> вміст залежить від обсягу внесення добрив

Джерело: узагальнено авторами

Фізичні та паливні характеристики і властивості окремих видів біомаси і їх сумішей визначають технологічні та конструктивні рішення енергетичного обладнання, що має відповідати розрахунковому паливу [1, с. 83; 5, с. 77].

Підвищений рівень вмісту сірки S може спостерігатися у відходах та залишках аграрного виробництва (солома, стебла, лушпиння й ін.) і може складати 0,1 – 0,5 %, а тому особлива увага приділяється процесам корозії та емісії в димових газах. Вміст азоту N і сірки S в деревині є низькими, що при заміщенні вугілля знижує викиди оксидів сірки та азоту в атмосфері.

Вміст в золі солей Са та Mg призводить до зростання температури розм'якшення золи, на відміну від Na та K в поєднанні з Si. Зола соломи, яка містить низькі концентрації Са та високі концентрації К, починає плавитися значно раніше, ніж зола деревних палив, що потенційно створює обмеження для використання соломи в котлах призначених для спалювання деревного палива. Негорючі елементи Si, Са, Mg, К, Na та Р, що входять до складу палива, утворюють золу частину палива. К, Р та Mg, що є поживними речовинами, відіграють важливу роль у використанні біомаси та золи в якості біологічних добрив.

Аналіз структури поточного споживання біомаси/біопалив в Україні показує, що домінуюча роль тут належить деревній біомасі, доступний потенціал якої використовується вже на 90 %. Суттєва частка споживання енергії біомаси припадає на побічну продукцію олійної промисловості – лушпиння соняшнику, причому уже сьогодні потенціал лушпиння використовується на 83 %.

Отже, подальші перспективи та можливості нарощування обсягів виробництва енергії з біомаси пов'язані насамперед з використанням побічної продукції рослинництва (соломи, стебел) та вирощуванням енергетичних культур (табл. 6.15).

Таблиця 6.15

**Використання біомаси в Україні, 2015 р.**

Вид біомаси	Потенціал, доступний для енергетичного використання, тис. т	Обсяг, що вже використовується для потреб енергетики		Частка використання від загального потенціалу, %
		тис. т	тис. т н.е.	
Солома зернових	10540	256	95	2,4
Стебла, стрижні кукурудзи	12120	3,7	1,2	0,0
Стебла, кошики соняшника	8480	0,0	0,0	0,0
Деревна біомаса	9470	8514	2097	89,9
Лушпиння соняшника	1410	1166	462	82,7

*Джерело: [6, с. 15; 10, с. 60; 8, с. 308]*

Основними технологіями спалювання деревної біомаси, що наразі використовуються, є спалювання в пальниках ретортного типу, спалювання на решітках та ін. Пряме спалювання є добре відпрацьованою технологією й відрізняється своєю простотою та доступністю. Сучасне вдосконалення цих технологій іде шляхом вирішення проблем забруднення навколишнього середовища, пристосування до використання різних видів палива та підвищення ефективності спалювання.

Враховуючи значний потенціал агробіомаси в Україні, наукові дослідження рухаються в напрямку дослідження використання рослинних відходів як для традиційних технологій спалювання [12, с. 37; 7, с. 135] так і для ранніх комерційних технологій газифікації біомаси [9, с. 501].

Виходячи з досвіду реалізації біоенергетичних проектів в Україні, основні труднощі полягають в організації надійного забезпечення об'єктів теплоенергетики паливною сировиною. Особливості організації логістики біопалива в першу чергу залежать від виду сировини – чи то аграрних відходів, таких як солома чи стебла кукурудзи, деревини чи деревних відходів або ж готового покращеного біопалива у вигляді гранул та брикетів. Зовнішніми факторами впливу на схему організації логістики є клімат, ґрунти і рельєф місцевості, масштаб проекту та відстань перевезення.

Організація заготівлі біомаси характеризується сезонністю, що особливо чітко прослідковується для біомаси сільськогосподарського походження. Часові рамки доступності збору агробіомаси досить обмежені – від кількох тижнів до кількох місяців, а час заготівлі визначається періодом збирання врожаю, погодними умовами та агротехнічними вимогами.

Реалізація біоенергетичних проектів в муніципальному секторі здійснюється в двох основних напрямках – виробництво теплової енергії для власного теплозабезпечення та виробництво теплової енергії на продаж за встановленим тарифом. Як правило, реалізація проектів використання біомаси для виробництва теплової енергії орієнтована на повне або часткове заміщення газу. В індивідуальних котельнях виконуються проекти повного заміщення газу, а в котельнях централізованого тепlopостачання великої потужності – часткового заміщення, де газові котли відіграють роль резервних та пікових. Економія природного газу на кожен вироблену 1 Гкал теплової енергії з біомаси складає 132 – 165 м<sup>3</sup>, а скорочення викидів парникових газів при заміщенні газу біомасою – близько 1,9 т CO<sub>2e</sub>/тис. м<sup>3</sup>.

Отже, котельня централізованого тепlopостачання потужністю 8 МВт, що за опалювальний період здатна виробити 23 тис. Гкал теплової енергії, дозволяє замістити понад 3 млн. м<sup>3</sup> природного газу та знизити викиди парникових газів на 6 тис. т CO<sub>2e</sub> щорічно.

Економічна ефективність біоенергетичних проектів залежить від індивідуальних умов, що визначаються впливом таких основних факторів як:

– тривалість опалювального періоду та використання встановленої потужності обладнання, що залежить від кліматичних умов населеного пункту;



- тариф на традиційні палива, що залежить від категорії споживачів;
- ціна біопалива з доставкою, що залежить від якості та виду палива, а також від відстані транспортування;
- масштаб проекту, обсяг капітальних витрат та умови фінансування.

У структурі витрат на виробництво теплової енергії витрати на біопаливо можуть складати 40–60 %, а тому вартість палива є ключовим параметром економічної доцільності заміщення традиційних палив. На основі аналізу даних про результати 200 публічних закупівель дров на суму понад 100 млн. грн в 2017 р. можна зробити висновок, що ціна на біопаливо в залежності від якості та регіону може відрізнятись в кілька разів, що пов'язано з витратами на доставку. Мінімальна вартість дров з доставкою та ПДВ – 240 грн./щ. м<sup>3</sup>, максимальна – 1200 грн./щ. м<sup>3</sup>, середня – 580 грн./щ. м<sup>3</sup>. В перерахунку на масу середня вартість дров складає 900 грн./т з ПДВ. Вартість паливних гранул з доставкою – 1170–3400 грн./т з ПДВ, брикетів – 1300–3700 грн./т з ПДВ, а деревної тріски – 800–1400 грн./т з ПДВ (рис. 6.9, 6.10).

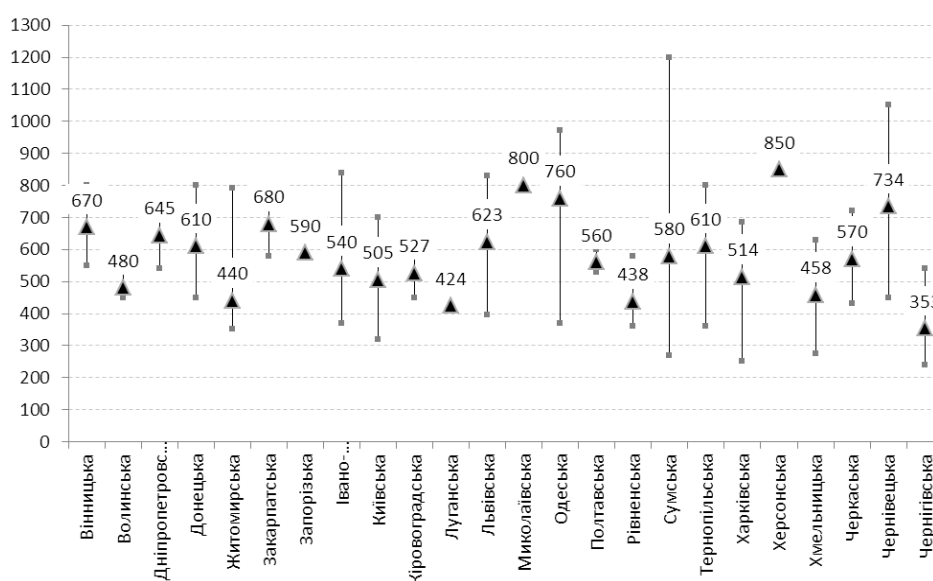


Рис. 6.9. Вартість дров паливних з доставкою, грн/щ. м<sup>3</sup> з ПДВ, 2017 р.

Джерело: [2, с. 42; 3, с. 160]

Через відсутність на даний час розвинуеного ринку паливної сировини з відходів (солома, стебла кукурудзи чи соняшника) практичні дослідження направлені на визначення можливостей заготівлі та виконання економічної оцінки технологічних витрат [2, с. 42; 3, с. 160].

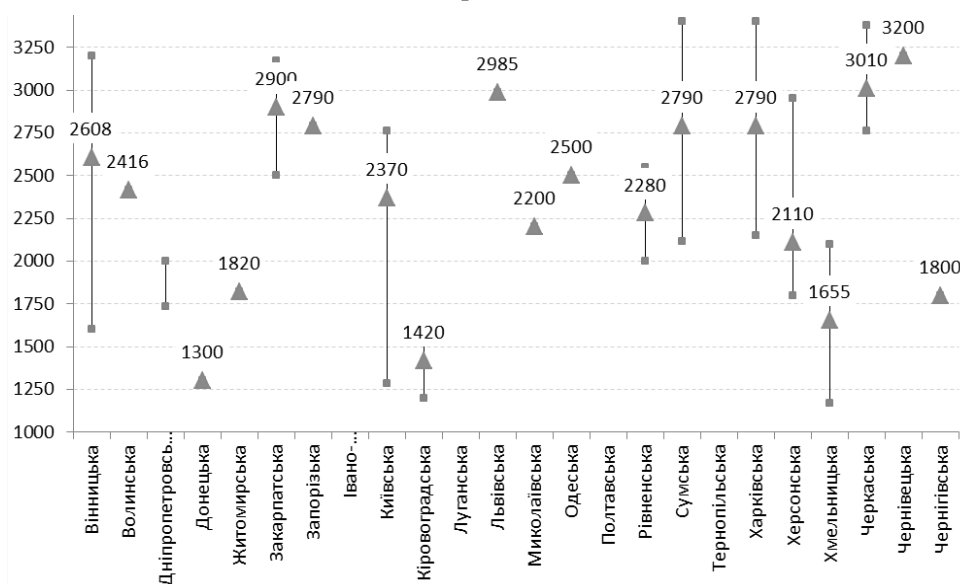


Рис. 6.10. Вартість паливних гранул з доставкою, грн/т з ПДВ, 2017 р.

Джерело: [2, с. 42; 3, с. 160]

Отже, економічна ефективність [4, с. 27] однакових за потужністю та обладнанням проектів виробництва теплової енергії з різною вартістю біопалива може відрізнятись дуже суттєво в т.ч. бути економічно недоцільною. Ціна палива та обсяг капітальних витрат пропорційно впливають на термін окупності проектів, а тариф на відпуск теплової енергії має зворотній вплив, тому використання дорогого палива може бути доцільним при реалізації теплової енергії за високими тарифами.

Згідно проведених досліджень з закупівлі твердопаливних котлів, що працюють на біопаливі, для потреб муніципального сектору в переважній більшості використовується дешеве вітчизняне обладнання. Середня вартість такого обладнання складає 0,5 – 1,5 тис. грн./кВт з ПДВ. В той же час вартість проектів “під ключ” коливається в дуже широкому діапазоні й залежить як від вартості обладнання, так і від обсягів будівельних робіт. Для проектів реконструкції котелень з встановленням вітчизняних котлів на біопаливі питомі інвестиції складають 0,8 – 3 тис. грн./кВт, для будівництва нових котелень в т.ч. з використанням імпортного обладнання та інфраструктурою – від 3,5 до 7 тис. грн/кВт.

В якості прикладу оцінки техніко-економічних показників проектів котелень на біопаливі розглянуто кілька варіантів можливих сценаріїв (Сц.) впровадження опалювальних котелень потужністю 500 кВт та 3000 кВт. В якості палива розглянуті дрова, якісні деревні гранули, гранули з соломки та деревна тріска (табл. 6.16).

Таблиця 6.16

Основні техніко-економічні показники котелень на біопаливі

Найменування	Сц. 1	Сц. 2	Сц. 3	Сц. 4
Потужність котельні, кВт	500	500	500	3000
Вид біопалива	дрова	гранули деревні	гранули з соломки	тріска
Калорійність біопалива, МДж/кг	10,5	17,5	16,7	9,0
Вартість біопалива, без ПДВ, грн/т	800	2500	2000	1050
Питомі капітальні витрати “під ключ” (без ПДВ), грн/кВт	2000	2000	2500	3000
Виробничі показники (річні)				
Плановий обсяг виробництва, Гкал	1152	1152	1152	6910
Витрата біопалива, т	530	315	331	3782
Економія природного газу, тис. м <sup>3</sup>	158	158	158	948
Зниження викидів парникових газів, Т CO <sub>2e</sub>	300	300	300	1801
Економія коштів на закупівлі палива, без ПДВ, тис. грн	519	155	281	1684
Всього виробничих витрат, без ПДВ, тис. грн	771	1136	1010	6324
Амортизаційні нарахування річні, тис. грн	100	100	125	900
Всього витрат, тис. грн	871	1236	1135	7224
Виробнича собівартість, грн/Гкал	670	986	877	915
Повна собівартість, грн/Гкал	757	1073	985	1045

Джерело: [11, с. 31]

Як видно з результатів оцінки, найнижча собівартість теплової енергії складає 757 грн./Гкал при використанні дров за повною вартістю 800 грн./т (520 грн./щ. м<sup>3</sup> без ПДВ). При використанні паливних гранул з соломки повна собівартість теплової енергії складає 985 грн./Гкал.

Отже, виробництво теплової енергії з біомаси та заміщення газу є економічно доцільним при величині тарифів на теплову енергію з газу не нижче 1100 грн./Гкал з ПДВ. На рис. 6.11 наведені приклади оцінки термінів окупності проектів виробництва теплової енергії для власних потреб та для продажу в залежності від питомої вартості проекту та ціни біопалива. Для інвестиційних проектів базовий тариф на виробництво теплової енергії приймаємо на основі середнього тарифу, що складає 90 % від газового тарифу – 1000 грн./Гкал без ПДВ.

Як видно з рис. 6.11, будівництво котелень на паливних дровах є економічно доцільним заходом. Простий термін окупності таких проектів навіть при високій вартості палива 950 грн/т без ПДВ складає 2,4 – 4,6 років. В той же час, простий термін окупності будівництва котелень на паливних гранулах, навіть за умов аналогічних питомих інвестиційних витрат у розмірі 3 тис. грн/кВт, складає 6,5 – 10 років. У разі використання дорогих паливних гранул за ціною понад 2500 грн/т без ПДВ й продажем теплової енергії за ціною 1000 грн./Гкал проекти є збитковими. У випадках використання деревної тріски за середньою ринковою ціною 750 – 900 грн/т без ПДВ простий термін окупності проектів складає 5 – 9 років.

Внаслідок заміщення дорогого природного газу більш дешевим біопаливом виникає економія коштів, що може бути спрямована на повернення інвестицій. Запропонована вище методика економічної оцінки проектів базується на використанні зекономлених коштів як різниці між повною собівартістю теплової енергії з газу та біопалива. Такий метод оцінки можна застосовувати для проектів, що фінансуються за рахунок власних коштів та реалізуються для забезпечення власних потреб в тепловій енергії.

Для проектів, що передбачають залучення інвестицій та продаж теплової енергії стороннім споживачам, оцінку проектів варто виконувати на основі аналізу інвестиційних показників – простого та дисконтного терміну окупності (DPBP), чистої приведеної вартості (NPV) та внутрішньої норми рентабельності (IRR). Для запропонованих базових сценаріїв виконаємо оцінку інвестиційної ефективності.

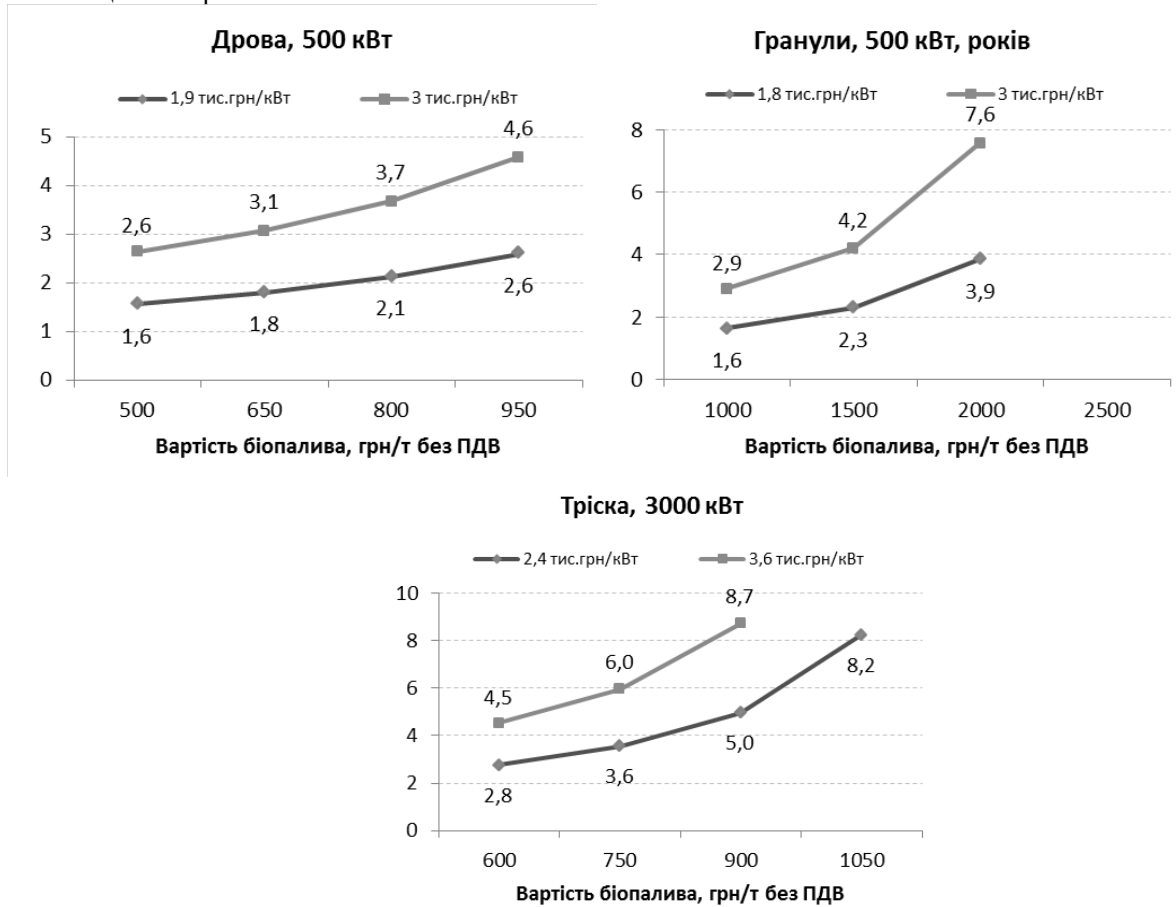


Рис. 6.11. Терміни окупності проектів виробництва та продажу теплової енергії, років  
Джерело: розрахунки авторів

Отже, значний потенціал біомаси в Україні, зокрема відходів сільського господарства, має сприяти розвитку сектору виробництва енергії з біомаси та заміщенню викопного палива. Значний досвід впровадження біоенергетичних проектів та наявність широкого кола виробників обладнання є передумовою й для подальшого успішного розвитку енергетичного використання біомаси. Поміж тим, при підготовці проектів значну увагу варто приділяти енергетичній та екологічній ефективності обладнання. Загалом економічні показники проектів виробництва теплової енергії з біомаси є привабливими для успішної реалізації проектів в бюджетній сфері, ЖКГ та комерційному секторі. Використання палива низької якості, в т.ч. відходів сільського господарства, потребує спеціального обладнання та значних капітальних витрат, що може бути економічно доцільним на об'єктах великої потужності.

### 6.5. Аналіз впливу впровадження міжнародних екологічних обмежень на енергоефективність у розрізі галузевої структури національної економіки

© Кудін В. І.

д.т.н., с.н.с., професор кафедри інтелектуальних інформаційних систем,  
Київський національний університет ім. Тараса Шевченка, м. Київ, Україна

© Онищенко А. М.

д.е.н., доцент, професор кафедри інформаційних систем та технологій,  
Київський національний університет ім. Тараса Шевченка, м. Київ, Україна

В умовах соціально-економічної кризи стратегічну роль у розрізі галузевої структури України відіграє енергетичний сектор: наповнення бюджету, додаткові експортні надходження, інші економічні та соціальні блага. Однак подальша експлуатація існуючих технологій з добутку, транспортування та збереження енергоресурсів здійснює негативний вплив на стан навколишнього природного середовища, що зрештою обумовлює втрату якості самих енергоресурсів та ускладнює їх подальший видобуток.

Наявний економічний механізм не може ефективно використовувати накопичений виробничий потенціал та досягнення в обмеженні впливу на довкілля, що стримує інтенсифікацію виробництва та поглиблює диспропорції та незбалансованість економічної системи. Такий економічний механізм сформований в період переважно екстенсивного розвитку економіки та орієнтований на досягнення кількісних показників. При цьому аналіз здійснювався за приростами до базового рівня на основі валового випуску продукції, який передбачав повторний рахунок продукції. Прояв незбалансованості у вигляді дефіцитності, браку ресурсів та продукції часто породжений існуючим механізмом, недостатньою економічною відповідальністю за використання ресурсів, завищеним попитом на них, ослабленням стимулів до підвищення екологічних стандартів тощо.

В умовах досягнутого рівня розвитку виробництва, створеної структури виробництва першочергове значення в розв'язанні проблеми збалансованості має визначення правильних пріоритетів у розвитку галузей та регіонів, спрямованих на досягнення високих кінцевих результатів, прискорення екологізації економіки. Встановлення та підтримка пріоритетів і пропорцій потребує визначення необхідних для їх реалізації ресурсів, що певною мірою ускладнює досягнення збалансованості. В таких умовах важливо не допустити значного відставання всіх інших галузей, відстрочки розв'язання неперіоритетних, але важливих проблем. Пріоритетний розвиток окремих галузей, інтенсифікація промислового виробництва передбачають певні структурні зрушення в економічній системі та потребують відповідних пропорцій в темпах зростання різних структурних складових економіки. Важливий вплив на структурні зрушення здійснює процес інвестування, направлений на те, щоб гнучко реагувати на зміни в обсягах та структурі потреб і впливати у відповідному напрямку на об'єм та структуру виробництва. Інвестування активно впливає на вдосконалення структури економіки і підвищення збалансованості її розвитку шляхом вводу основних виробничих фондів та виробничих потужностей.

Один з шляхів залучення іноземних інвестицій, зокрема, в енергетичний сектор, це участь країни у міжнародних еколого-економічних угодах, спрямованих на скорочення емісій парникових газів. З метою практичної реалізації поставлених завдань Організацією Об'єднаних Націй було створено Рамкову Конвенцію зі Зміни Клімату (РКЗК ООН) [1], основною метою якої є встановлення порядку скорочення викидів в атмосферу парникових газів, в першу чергу, діоксиду вуглецю. Їх накопичення визнано причиною однієї з основних екологічних проблем сьогодення – глобального потепління. За результатами тривалих перемовин конференції сторін зі зміни клімату у Франції 12 грудня 2015 р. було підписано Паризьку угоду [2], яка визначає правила скорочення емісій парникових газів у світовому масштабі. Зазначена мета вимагає реалізації відповідних структурних змін у різних секторах економічної системи, взаємодії її складових та виокремлення екологічного блоку, як самостійної одиниці.

Слід також зазначити, що на сучасному енергоринку України досі наявні значні обсяги резервів економії енергії, які здатні задовольнити додаткові її потреби для підвищення ефективності праці та якості продукції. Окрім того, затребуваною є частка енергії для покращення санітарного стану підприємств та пов'язаних з ними міст, де викиди шкідливих речовин в десятки разів перевищують допустимі норми. Для коректної оцінки енерговитрат конкретних виробництв необхідним є вивчення всіх її складових, як прямих (в конкретній галузі) так і тих, що мають місце у суміжних та у всьому міжгалузевому ланцюзі. Лише при такому комплексному дослідженні впливу запровадження тих чи інших еколого-економічних нормативів в рамках національної економіки можна отримати надійні дані для подальшого аналізу та порівнянь.

Забезпечення збалансованості економіки в умовах інтенсифікації виробництва можливе лише на ресурсозбережній основі. Інтенсифікація та ресурсозбережна спрямованість інвестиційного процесу виступають важливими факторами підвищення ефективності та збалансованості виробництва. Прискорений та економічний випуск кінцевої продукції інвестиційного процесу надає можливість отримати більші результати з меншими витратами ресурсів, створює можливості для прискореного розв'язання екологічних та економічних проблем, більш повного задоволення потреб населення. Кінцевим результатом інвестиційного процесу стає не лише введення в дію нових виробничих потужностей або їх реконструкція, а й забезпечення умов для їх ефективного функціонування. Таким вимогам повинні відповідати технічно оснащені виробничі об'єкти, які відповідають новим емісійним стандартам. Лише в таких умовах об'єкти будуть функціонувати з високою екологічною та економічною ефективністю та забезпечать збалансований розвиток виробництва.

Отже, кінцевий результат інвестиційного процесу безпосередньо впливає не на можливість ресурсозбереження, а також на ефективність та збалансованість розвитку всієї економічної системи.

Виконання встановлених зобов'язань щодо неперевищення квот на викиди парникових газів накладає певні обмеження на основні економічні показники виробничої діяльності. Оскільки існує залежність між обсягами валового випуску та об'ємами емісій CO<sub>2</sub>, передусім це стосується валового випуску продукції, обсягу інвестицій, кінцевого продукту, їх оптимального розподілу у системі національного багатства. Дотримуючись загального принципу поділу економічних досліджень на мікро-, мезо- та макrorівні, будемо розглядати функціонування виробництва у розрізі існуючих галузей, що зумовлено складністю та багатофакторністю завдань скорочення викидів парникових газів у національній економіці.

Оскільки зміст ПУ має еколого-економічний характер, реалізація його положень вимагає застосування міждисциплінарного підходу. Як ефективний інструментарій дослідження в цьому випадку може розглядатися балансова еколого-економічна модель “витрати-випуск”, якій належить особлива роль у розв'язанні принципових проблем перспективного планування з урахуванням природокористування, а саме обґрунтування величини витрат на охорону навколишнього середовища з урахуванням соціально-економічного ефекту та розподілу їх у територіально-галузевому розрізі.

Низка питань, пов'язаних з участю країни в Паризькій угоді, визначає необхідним, в першу чергу, оцінку потенційного обсягу майбутнього ринку екологічних послуг, визначення можливих партнерів, розробку економічної стратегії, яка б визначала пріоритети стосовно кожного економічного механізму, пропорції їх застосування з метою залучення максимального обсягу екологічних інвестицій.

Особлива роль у розв'язанні принципових проблем природокористування – обґрунтування величини витрат на охорону довкілля з врахуванням соціально-економічного ефекту та розподілу їх у територіально-галузевому розрізі – належить балансовим еколого-економічним моделям типу “витрати-випуск”, а також регіональним та галузевим моделям.

Історично першою і в певному розумінні найбільш простою математичною моделлю міжгалузевих виробничих зв'язків, прийнятною для практичних розрахунків стала балансова модель “витрати-випуск”.

Складність та багатофакторність задач скорочення викидів парникових газів в національній економіці вимагає розгляду виробництва в розрізі існуючих галузей (видів економічної діяльності), включення до їх складу обсягу витрат на реалізацію заходів за Паризькою угодою та виділення в першу чергу групи екологічно брудних серед них. У зв'язку з цим запропоновано враховувати витрати на виконання емісійних обмежень парникових газів у структурі галузей основного виробництва у вигляді [4]:

$$\begin{cases} x_1 = A_{11}x_1 + A_{12}x_2 + Cy_2 + y_1 \\ x_2 = A_{21}x_1 + A_{22}x_2 - y_2 \end{cases}, \quad (6.1)$$

де  $x_1 = (x_1^1, x_2^1, \dots, x_n^1)^T$  – вектор-стовпчик об'ємів виробництва продукції;

$x_2 = (x_1^2, x_2^2, \dots, x_m^2)^T$  – вектор-стовпчик об'ємів знищених забруднюючих речовин;

$y_1 = (y_1^1, y_2^1, \dots, y_n^1)^T$  – вектор-стовпчик об'ємів кінцевої продукції;

$y_2 = (y_1^2, y_2^2, \dots, y_m^2)^T$  – вектор-стовпчик об'ємів незнищених забруднень;

$A_{11} = (a_{ij}^{11})_1^n$  – квадратна матриця коефіцієнтів прямих витрат продукції  $i$  на виробництво одиниці продукції  $j$ ;

$A_{12} = (a_{ig}^{12})_{i,g=1}^{n,m}$  – прямокутна матриця витрат продукції  $i$  на одиницю знищення забруднювачів  $g$ ;

$A_{21} = (a_{kj}^{21})_{k,j=1}^{m,n}$  – прямокутна матриця випуску забруднювачів  $k$  на одиницю виготовленої продукції  $J$ ;

$A_{22} = (a_{kg}^{22})_1^m$  – квадратна матриця випуску забруднювачів  $k$  на одиницю знищення забруднювачів  $g$ .

$Cy_2$  – витрати, пов'язані з викидами парникових газів (тобто витрати на обслуговування викидів парникових газів, зокрема, це плата за дозволи на викиди);

$C = (c_{ig}^{12})_{i,g=1}^{n,m}$  – прямокутна матриця витрат продукції  $i$  на одиницю викидів забруднювача  $g$ ;

У векторно-матричному вигляді модель (6.1) можна представити так:

$$\begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A_{11} & A_{12} \\ A_{21} & A_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} E_1 & C \\ 0 & -E_2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \end{pmatrix},$$

де  $E_1$  та  $E_2$  – відповідні одиничні діагональні матриці.

Перше рівняння запропонованої моделі відображає економічний баланс – розподіл галузевого валового випуску продукції на виробниче споживання основного та допоміжного виробництв, кінцеве споживання основного виробництва та витрати, пов'язані з виконанням зобов'язань за Паризькою угодою. Друге рівняння відображає фізичний баланс парникових газів, як суму емісій, спричинених діяльністю основного та допоміжного виробництв, та їх незнищених обсягів.

Економічний зміст змінних моделі (6.1) вимагає розгляду їх невід'ємних значень. Останнє тісно пов'язано з питанням продуктивності балансових моделей [5], що дозволяє вести мову про реальне функціонування виробничої системи, здатної забезпечити проміжне споживання, додатні обсяги кінцевого продукту та виконання встановлених обмежень з викидів парникових газів.

З метою дослідження питання забезпечення невід'ємності розв'язків виразимо  $x_2$  з другого рівняння та підставимо у перше:

$$x_1 = (E_1 - A_1)^{-1} (y_1 + C y_2 - A_{12} (E_2 - A_{22})^{-1} y_2),$$

де  $A_1 = A_{11} + A_{12} (E_2 - A_{22})^{-1} A_{21}$  – квадратна матриця  $n$ -го порядку.

Також виразимо  $x_1$  з першого рівняння та підставимо у друге:

$$x_2 = (E_2 - A_2)^{-1} (A_{21} (E_1 - A_{11})^{-1} y_1 + A_{21} (E_1 - A_{11})^{-1} C y_2 - y_2),$$

де  $A_2 = A_{22} + A_{21} (E_1 - A_{11})^{-1} A_{12}$  – квадратна матриця  $m$ -го порядку.

Отже, формальний розв'язок можна записати у вигляді:

$$\begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} (E_1 - A_1)^{-1} & (E_1 - A_1)^{-1} (A_{12} (E_2 - A_{22})^{-1} - C) \\ (E_2 - A_2)^{-1} A_{21} (E_1 - A_{11})^{-1} & (E_2 - A_2)^{-1} (E_2 - A_{21} (E_1 - A_{11})^{-1} C) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} y_1 \\ -y_2 \end{pmatrix}.$$

Згідно класичної методики дослідження балансових моделей узагальнимо поняття продуктивності на випадок блочної матриці з невід'ємними елементами:

$$A = \begin{pmatrix} A_{11} & A_{12} \\ A_{21} & A_{22} \end{pmatrix} \geq 0. \quad (6.2)$$

Будемо вважати невід'ємну блочну матрицю продуктивною, якщо продуктивними є матриці  $A_{11}$ ,  $A_{12}$ ,  $A_1$  та  $A_2$ . Продуктивність матриць  $A_1$  та  $A_2$  означає рентабельність основного та допоміжного виробництв за повним циклом виробництва продукції та за повним циклом знищення парникових газів. Якщо матриці  $A_{11}$ ,  $A_{12}$ ,  $A_1$  та  $A_2$  – продуктивні, то матриці:

$$(E_1 - A_{11})^{-1} \geq 0, (E_2 - A_{22})^{-1} \geq 0, (E_1 - A_1)^{-1} \geq 0, (E_2 - A_2)^{-1} \geq 0$$

існують та мають невід'ємні елементи.

Продуктивність блочної матриці (6.2) не гарантує невід'ємності розв'язків системи (6.2). Проаналізуємо отримані вирази для  $x_1$  та  $x_2$ . З системи (6.2) отримуємо:

$$x_1 = (E_1 - A_{11})^{-1} (A_{12} x_2 + C y_2 + y_1).$$

Звідси випливає, що при  $x_2 \geq 0$ ,  $y_1 \geq 0$ ,  $y_2 \geq 0$  виконується умова  $x_1 \geq 0$ .

Отже, необхідною та достатньою умовою невід'ємності розв'язків моделі (6.1) при продуктивності блочної матриці (6.2) та при  $y_1 \geq 0$ ,  $y_2 \geq 0$  буде умова  $x_2 \geq 0$ , тобто

$$(E_2 - A_2)^{-1} (A_{21} (E_1 - A_{11})^{-1} y_1 + A_{21} (E_1 - A_{11})^{-1} C y_2 - y_2) \geq 0.$$

З останньої нерівності отримуємо достатню умову існування невід'ємних розв'язків:

$$A_{21} (E_1 - A_{11})^{-1} (y_1 + C y_2) \geq y_2,$$

яку можна замінити ще більш жорсткою достатньою умовою:

$$A_{21} (y_1 + C y_2) \geq y_2.$$

Остання нерівність означає, що достатньою умовою функціонування основного та допоміжного виробництв є неперевикнення обсягу неутилізованих викидів парникових газів над повними емісіями парникових газів, що виникають при виробництві кінцевого продукту та витрат спрямованих на обслуговування зобов'язань за Паризькою угодою.

Розглянемо задачу визначення як зміняться вектори валового випуску та об'ємів утилізації парникових газів, якщо змінити коефіцієнти технологічних матриць, зокрема при посиленні екологічних стандартів та необхідності збільшення витрат на виконання зобов'язань за Паризькою угодою. Наприклад, припустимо, що зміни зазнають елементи однієї або кількох технологічних матриць  $A_{11}$ ,  $A_{12}$ ,  $A_{21}$ ,  $A_{22}$ ,  $C$ .

Визначимо як така зміна впливає на значення векторів  $x_1$  та  $x_2$ . Для цього використаємо процедуру, запропоновану в математичній літературі з матричного аналізу [6].

Модель (6.1) можемо представити у вигляді:

$$Au = G. \quad (6.3)$$

де  $A = \begin{pmatrix} E_1 - A_{11} & -A_{12} \\ -A_{21} & E_2 - A_{22} \end{pmatrix}$ ,  $u = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix}$  –  $(n + m)$ -вимірний вектор,  $G = \begin{pmatrix} E_1 & C \\ 0 & -E_2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \end{pmatrix}$ ,

$E_1, E_2$  – блочні одиничні матриці відповідної розмірності,  $0$  – блочна нульова матриця.

Будемо також розглядати систему, збурену (в елементах матриць  $A_{11}, A_{12}, A_{21}, A_{22}$  та вектора-стовпця  $G$ ) по відношенню до системи лінійних алгебраїчних рівнянь (6.3) вигляду:

$$\bar{A}_u = \bar{G}. \quad (6.4)$$

де  $\bar{A}_u, \bar{G}$  – відповідні збурена матриця та вектор-стовпець. Нехай для системи (6.3) знайдено опорний розв'язок та обернену матрицю. Тоді має місце наступна теорема (детальніше в [7]).

Теорема 1. Між коефіцієнтами розвинення векторів-нормалей обмежень за рядками базисної матриці, елементами обернених матриць, базисними розв'язками, нев'язками обмежень в двох суміжних базисних розв'язках відповідно мають місце такі співвідношення:

$$\bar{\alpha}^{rk} = \frac{\alpha^{rk}}{\alpha^{lk}}, \quad \bar{\alpha}_{ri} = \alpha_{ri} - \frac{\alpha^{rk}}{\alpha^{lk}} \alpha_{li}, \quad r = \overline{1, n+m}, \quad i = \overline{1, n+m}, \quad i \neq k. \quad (6.5)$$

$$\bar{e}_{rk} = \frac{e_{rk}}{\alpha^{lk}}, \quad \bar{e}_{ri} = e_{ri} - \frac{e_{rk}}{\alpha^{lk}} \alpha_{li}, \quad r = \overline{1, n+m}, \quad i = \overline{1, n+m}, \quad i \neq k. \quad (6.6)$$

$$\bar{u}_{0j} = u_{0j} - \frac{e_{jk}}{\alpha^{lk}} \Delta_1, \quad j = \overline{1, n+m}. \quad (6.7)$$

$$\bar{\Delta}_k = -\frac{\Delta_1}{\alpha^{lk}}, \quad \bar{\Delta}_r = \Delta_r - \frac{\alpha^{rk}}{\alpha^{lk}} \Delta_1, \quad r = \overline{1, n+m}, \quad r \neq k. \quad (6.8)$$

При цьому умовою опорності базисної матриці при вводі вектору нормалі  $a_1$  обмеження  $a_{1i} \leq g_1$  на  $k$ -у позицію базисної матриці  $A$  є виконання нерівності  $\alpha^{lk} \neq 0$ .

На основі приведених співвідношень можна побудувати алгоритмічну схему дослідження систем (6.4) (при змінах в моделі). Алгоритм буде ґрунтуватись на ідеології симплекс-методу, з деякими особливостями організації ітераційного процесу. Зокрема, перехід від системи (6.3) до системи (6.4) буде проводитись послідовним заміщенням відповідних збурених рядків  $i, i+1, i+2, \dots, i+i_0$ . Це означає, що вектори нормалей гіперплощин, які утворюють рядки базисної матриці та відповідної їй оберненої матриці, будуть заміщатись відповідними “збуреними” векторами-нормалями. На основі симплексних співвідношень (6.5)–(6.8) будуть перераховуватись наступні опорні розв'язки та обернені матриці. При збереженні властивості опорності, на ітераціях заміщення, розв'язок системи (6.4) буде знайдено за  $i_0$  ітерацій. В результаті отримуємо новий базисний розв'язок та обернену матрицю (без перерозв'язання зміненої задачі (6.4) спочатку).

Формули (6.5)–(6.8) можуть бути покладені в основу алгоритму визначення нового розв'язку у випадку збурення елементів базисної матриці, що дозволяє визначати зміни в обсягах валового випуску при зміні технологічних матриць еколого-економічної моделі (6.2).

Крок 1. Знаходимо розв'язок  $u_0$  вихідної системи (6.3) та її обернену матрицю  $A^{-1}$ .

Крок 2. Якщо збурюємо матрицю  $A$  в елементі  $a_{kj}$ , то тоді  $\bar{a}_{kj} = a_{kj} + a'_{kj}$ .

Крок 3. Визначаємо коефіцієнт  $\bar{a}_{kk} = 1 + a'_{kj} \cdot e_{jk} \neq 0$ , де  $e_{jk}$  – відповідний елемент матриці  $A^{-1}$ .

Крок 4. Знаходимо новий вектор-стовпець  $\bar{e}_k = \frac{e_k}{\bar{a}_{kk}}$  матриці оберненої до  $\bar{A}$ .

Крок 5. Визначаємо нев'язку збуреного рядка в елементі  $a'_{kj} : \Delta_1 = \bar{\Delta}_k = a'_{kj} \cdot u_{0j}$ , де  $u_{0j}$  –  $j$ -та компонента  $u_0$ .

Крок 6. Знаходимо новий розв'язок на основі співвідношення  $\bar{u}_0 = u_0 - \bar{e}_k \cdot \Delta_1$ .

Проілюструємо запропонований алгоритм визначення об'ємів валового галузевого випуску у випадку технологічних міжгалузевих змін на умовних даних. Нехай коефіцієнти технологічних матриць еколого-економічної моделі (6.3) мають такі значення:

$$A_{11} = \begin{pmatrix} 0,2 & 0,1 \\ 0,3 & 0,2 \end{pmatrix}, \quad A_{12} = \begin{pmatrix} 0,1 & 0,2 \\ 0,2 & 0,2 \end{pmatrix}, \quad A_{21} = \begin{pmatrix} 0,1 & 0,3 \\ 0,2 & 0,3 \end{pmatrix}, \quad A_{22} = \begin{pmatrix} 0,2 & 0,3 \\ 0,3 & 0,1 \end{pmatrix},$$

матриця витрат на обслуговування емісій парникових газів та вектори галузевого кінцевого випуску і обмеження за викидами парникових газів відповідно:

$$C = \begin{pmatrix} 0,3 & 0,2 \\ 0,1 & 0,5 \end{pmatrix}, y_1 = \begin{pmatrix} 12 \\ 23 \end{pmatrix}, y_2 = \begin{pmatrix} 5 \\ 8 \end{pmatrix}.$$

Перевіримо виконання умови продуктивності для еколого-економічної системи у випадку обраних числових даних.

Переходимо до покрокової реалізації алгоритму 6.1 – 6.6.

1. Знаходимо розв'язок вихідної системи та обернену блочну технологічну матрицю:

$$u_0 = \begin{pmatrix} 38,17 \\ 60,43 \\ 32,67 \\ 30,62 \end{pmatrix}, A^{-1} = \begin{pmatrix} 1,79 & 0,73 & 0,6 & 0,76 \\ 1,08 & 2,0 & 0,74 & 0,93 \\ 1,04 & 1,32 & 1,99 & 1,19 \\ 1,1 & 1,27 & 1,04 & 1,99 \end{pmatrix}.$$

2. Припускаємо, що збурення в моделі (6.3) зазнає елемент  $a_{21}^{11} = 0,3$ , а саме збільшується на 0,1. Останнє означає збільшення витрат продукції 2-ої галузі на одиницю випуску 1-ої галузі. Отже,  $\bar{a}_{21} = 0,3 + 0,1 = 0,4$ .

3. Знаходимо  $\alpha_{kk} = \bar{\alpha}_{kk} = 1 + 0,1 \cdot a_{12}^{-1} = 1 + 0,1 \cdot 0,74 = 1,074$ .

4. Визначаємо вектор-стовпець:  $\bar{e}_2 = \begin{pmatrix} 0,73 \\ 2,0 \\ 1,32 \\ 1,27 \end{pmatrix} / 1,074 = \begin{pmatrix} 0,68 \\ 1,86 \\ 1,23 \\ 1,18 \end{pmatrix}$ .

5. Розраховуємо нев'язку збуреного рядка:  $\Delta_1 = \bar{\Delta}_2 = 0,1 \cdot 38,17 = 3,817$ .

6. Новий розв'язок отримуємо у вигляді:  $\bar{u}_0 = \begin{pmatrix} 38,17 \\ 60,43 \\ 32,67 \\ 30,62 \end{pmatrix} - 3,817 \cdot \begin{pmatrix} 0,68 \\ 1,86 \\ 1,23 \\ 1,18 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 35,57 \\ 53,33 \\ 27,97 \\ 26,12 \end{pmatrix}$ .

Аналіз отриманого розв'язку дозволяє зробити такі висновки. Збільшення витрат продукції 2-ої галузі на одиницю випуску 1-ої галузі в рамках балансової еколого-економічної системи (6.2) призводить до зменшення обсягів валового випуску 1-ї та 2-ї галузей матеріального виробництва на 2,6 та 7,1 умовних одиниць, а також обсягів утилізації парникових газів 1-го та 2-го виду на 4,7 та 4,5 умовних одиниць відповідно.

Запропонуємо застосування (6.5) – (6.8) для побудови методу оцінки трансформації виробничої структури в моделі (6.2) за умов зміни рядка технологічної матриці.

Результатом конкретизації наведеної технології є алгоритм визначення нового розв'язку у випадку збурення рядків базисної матриці для конкретного рядка обмежень (6.3), що дозволяє визначати зміни в обсягах валового випуску при зміні технологічних матриць еколого-економічної моделі (6.2).

Алгоритм:

Крок 1. Знаходимо розв'язок  $u_0$  вихідної системи (6.3) та її обернену матрицю  $A^{-1}$ .

Крок 2. Збурюємо матрицю  $A$  в елементах 1-го рядка у вигляді  $\bar{a}_i = a_i + a'_i$ ,  $\bar{g}_i = g_i + g'_i$ ,  $i = 1$ .

Крок 3. Визначаємо коефіцієнт  $\bar{a}_{kk} = a_k e_k + a'_k e_k = 1 + a'_k e_k$ , де  $e_k$  – стовпець матриці  $A^{-1}$ .

Крок 4. Визначаємо  $\bar{\Delta}_k = (a_k + a'_k) \cdot u_0 - (g_k + g'_k) = (a_k \cdot u_0 - g_k) + (a'_k \cdot u_0 - g'_k) = \Delta_k + \Delta'_k = \Delta'_k$ .

Крок 5. Знаходимо  $\lambda = -\bar{\Delta}_k / \bar{a}_{kk}$ .

Крок 6. Знаходимо новий вектор-стовпець  $\bar{e}_k = \lambda \cdot e_k$ .

Крок 7. Формуємо новий розв'язок на основі співвідношення  $\bar{u}_0 = u_0 + \bar{e}_k$ .

Зауваження. Неважко переконатись, що новий розв'язок (збуреної задачі) формується на основі старого розв'язку та вразуванні впливу вектору-стовпця оберненої матриці  $e_k$  та параметру  $\lambda = -\bar{\Delta}_k / \bar{a}_{kk}$ . “Вибором” стовпця оберненої матриці  $e_k$  та параметру  $\lambda$  (напрямок та розтяг відповідного вектора) можна формувати певні результуючі домінанти, тобто проводити зміни направлено та передбачувано.



Проілюструємо запропонований алгоритм визначення об'ємів валового галузевого випуску у випадку технологічних міжгалузевих змін на умовних даних. Нехай коефіцієнти технологічних матриць еколого-економічної моделі (6.3) мають такі значення:

$$A_{11} = \begin{pmatrix} 0,2 & 0,1 \\ 0,3 & 0,2 \end{pmatrix}, A_{12} = \begin{pmatrix} 0,1 & 0,2 \\ 0,1 & 0,2 \end{pmatrix}, A_{21} = \begin{pmatrix} 0,1 & 0,3 \\ 0,2 & 0,3 \end{pmatrix}, A_{22} = \begin{pmatrix} 0,2 & 0,3 \\ 0,3 & 0,1 \end{pmatrix},$$

матриця витрат на обслуговування емісій парникових газів та вектори галузевого кінцевого випуску і обмеження за викидами парникових газів відповідно:

$$C = \begin{pmatrix} 0,3 & 0,2 \\ 0,1 & 0,5 \end{pmatrix}, y_1 = \begin{pmatrix} 12 \\ 23 \end{pmatrix}, y_2 = \begin{pmatrix} 5 \\ 8 \end{pmatrix}.$$

Переходимо до покрокової реалізації алгоритму 6.1 – 6.6.

1. Знаходимо розв'язок вихідної системи, та обернену блочну технологічну матрицю:

$$u_0 = \begin{pmatrix} 38,17 \\ 60,43 \\ 32,67 \\ 30,62 \end{pmatrix}, A^{-1} = \begin{pmatrix} 1,79 & 0,73 & 0,6 & 0,76 \\ 1,08 & 2,0 & 0,74 & 0,93 \\ 1,04 & 1,32 & 1,99 & 1,19 \\ 1,1 & 1,27 & 1,04 & 1,99 \end{pmatrix}.$$

2. Припускаємо, що збурення в моделі (6.3) знає перший рядок, тобто збурена матриця набуває вигляду:

$$\bar{A} = \begin{pmatrix} 0,1 & 0,05 & 0,3 & 0,3 \\ 0,3 & 0,2 & 0,1 & 0,2 \\ 0,1 & 0,3 & 0,2 & 0,3 \\ 0,2 & 0,3 & 0,3 & 0,1 \end{pmatrix}.$$

Прикладний зміст зміни еколого-економічних показників такий: зазнають зменшення коефіцієнт витрат 1-ї галузі на одиницю виготовлення продукції 1-ї галузі на 0,1 одиниць, коефіцієнт витрат 1-ї галузі на одиницю виготовлення продукції 2-ї галузі на 0,05 одиниць відповідно; зазнають збільшення коефіцієнт витрат 1-ї галузі на знищення 1-го виду забруднень на 0,2 одиниць, коефіцієнт витрат 1-ї галузі на знищення 2-го виду забруднень на 0,1 одиниць відповідно.

3. Визначаємо скалярний добуток збуреного рядка та розв'язку вихідної системи:

$$\bar{a}_k \cdot u_0 = [0,1 \quad 0,05 \quad 0,3 \quad 0,3] \cdot \begin{bmatrix} 38,17 \\ 60,43 \\ 32,67 \\ 30,62 \end{bmatrix} = 25,83.$$

4. Визначаємо добуток вихідної технологічної матриці та вихідного розв'язку і обраховуємо нев'язку збуреного рядка  $\Delta$ :

$$a_k \cdot u_0 = [0,2 \quad 0,1 \quad 0,1 \quad 0,2] \cdot \begin{bmatrix} 38,17 \\ 60,43 \\ 32,67 \\ 30,62 \end{bmatrix} = 23,068.$$

$$\bar{\Delta}_k = \bar{a}_k \cdot u_0 - a_k \cdot u_0 = 25,83 - 23,068 = 2,7575.$$

5. Визначаємо коефіцієнти  $\bar{\alpha}_{kk}$ ,  $\lambda$ :

$$\bar{\alpha}_{kk} = \bar{a}_k \cdot e_k = [0,1 \quad 0,05 \quad 0,3 \quad 0,3] \cdot \begin{bmatrix} 1,79 \\ 1,08 \\ 1,04 \\ 1,1 \end{bmatrix} = 0,875, \lambda = -\frac{\bar{\Delta}_k}{\bar{\alpha}_{kk}} = -\frac{2,7575}{0,875} = -3,15.$$

6. Визначаємо коефіцієнт  $\bar{e}_k$ :

$$\bar{e}_k = \lambda \cdot e_k = -3,15 \cdot \begin{bmatrix} 1,79 \\ 1,08 \\ 1,04 \\ 1,1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -5,64 \\ -3,4 \\ -3,28 \\ -3,47 \end{bmatrix}.$$

7. Визначаємо розв'язок збуреної системи  $\bar{u}_0$ :

$$\text{згідно формули } \bar{u}_0 = u_0 + \bar{e}_k \quad \bar{u}_0 = u_0 + \bar{e}_k = \begin{bmatrix} 38,17 \\ 60,43 \\ 32,67 \\ 30,62 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -5,64 \\ -3,4 \\ -3,28 \\ -3,47 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 32,53 \\ 57,03 \\ 29,39 \\ 27,15 \end{bmatrix}.$$

Проведемо дослідження впливу змін  $k$ -го стовпця матриці обмежень  $A$  у вигляді  $\bar{A}_k = A_k + A'_k$  на розв'язок  $u_0$ , де  $A_k = (a_{1k}, a_{2k}, \dots, a_{mk})^T$ ,  $A'_k = (a'_{1k}, a'_{2k}, \dots, a'_{mk})^T$ , тобто в такій формі замінено  $A$  на  $\bar{A}$ .

Алгоритм:

1. Маємо відомі вектор  $u_0 = (u_{01}, u_{02}, \dots, u_{0m})^T$ ,  $A_b, A_b^{-1}$  – пряму та обернену базисну матрицю (6.3).

2. Нехай проводимо заміщення  $k$ -го стовпця матриці обмежень  $A_k$  стовпцем  $\bar{A}_k$ . Знаходимо вектор  $\bar{L}_k = (L_{k1}, L_{k2}, \dots, L_{km}) = A_b^{-1} \cdot \bar{A}_k$ .

3. Формуємо новий розв'язок  $\bar{u}_{0k} = \frac{u_{0k}}{1+(A_b^{-1})_k \times A'_k} \frac{u_{0k}}{L_{kk}}$ ,  $i = k$ .

$$\bar{u}_{0i} = u_{0i} - \frac{u_{0k}}{1+(A_b^{-1})_k \cdot A'_k} \cdot \left[ (A_b^{-1})_i \cdot A'_k \right] = u_{0i} - \frac{u_{0k}}{L_{kk}} \cdot L_{ki}, i \neq k.$$

Проілюструємо запропонований алгоритм визначення об'ємів валового галузевого випуску у випадку технологічних міжгалузевих змін на умовних даних. Нехай коефіцієнти технологічних матриць еколого-економічної моделі (6.2) мають такі значення:

$$A_{11} = \begin{pmatrix} 0,2 & 0,1 \\ 0,3 & 0,2 \end{pmatrix}, A_{12} = \begin{pmatrix} 0,1 & 0,2 \\ 0,1 & 0,2 \end{pmatrix}, A_{21} = \begin{pmatrix} 0,1 & 0,3 \\ 0,2 & 0,3 \end{pmatrix}, A_{22} = \begin{pmatrix} 0,2 & 0,3 \\ 0,3 & 0,1 \end{pmatrix},$$

матриця витрат на обслуговування емісій парникових газів та вектори галузевого кінцевого випуску і обмеження за викидами парникових газів відповідно:

$$C = \begin{pmatrix} 0,3 & 0,2 \\ 0,1 & 0,5 \end{pmatrix}, y_1 = \begin{pmatrix} 12 \\ 23 \end{pmatrix}, y_2 = \begin{pmatrix} 5 \\ 8 \end{pmatrix}.$$

1. Знаходимо розв'язок вихідної системи (6.4) та обернену блочну технологічну матрицю:

$$u_0 = \begin{pmatrix} 38,17 \\ 60,43 \\ 32,67 \\ 30,62 \end{pmatrix}, A = \begin{pmatrix} 0,2 & 0,1 & 0,1 & 0,2 \\ 0,3 & 0,2 & 0,1 & 0,2 \\ 0,1 & 0,3 & 0,2 & 0,3 \\ 0,2 & 0,3 & 0,3 & 0,1 \end{pmatrix}, A^{-1} = A_b^{-1} = \begin{pmatrix} 1,25 & 3,125 & -3,125 & 0,625 \\ -11,25 & 6,875 & 3,125 & -0,625 \\ 8,75 & -8,125 & -1,875 & 4,375 \\ 5,0 & -2,5 & 2,5 & -2,5 \end{pmatrix}.$$

2. Припускаємо, що збурення в моделі (6.3) знає третій стовпець ( $k = 3$ ): проводимо заміщення

$$k\text{-го стовпця матриці обмежень } A_3 = \begin{pmatrix} 0,1 \\ 0,1 \\ 0,2 \\ 0,3 \end{pmatrix} \text{ стовпцем } \bar{A}_3 = \begin{pmatrix} 0,2 \\ 0,2 \\ 0,1 \\ 0,1 \end{pmatrix}.$$

Знаходимо вектор:  $\bar{L}_k = (L_{k1}, L_{k2}, \dots, L_{km}) = A_b^{-1} \cdot \bar{A}_k$ :

$$\bar{L}_3 = \begin{pmatrix} 1,25 & 3,125 & -3,125 & 0,625 \\ -11,25 & 6,875 & 3,125 & -0,625 \\ 8,75 & -8,125 & -1,875 & 4,375 \\ 5,0 & -2,5 & 2,5 & -2,5 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 0,2 \\ 0,2 \\ 0,1 \\ 0,1 \end{pmatrix} = (0,625 \quad -0,625 \quad 0,375 \quad 0,5)$$

3. Визначаємо розв'язки:

$$\bar{u}_1 = 38,17 - \frac{32,67}{0,375} \cdot 0,625 = -16,28, \quad \bar{u}_2 = 60,43 - \frac{32,67}{0,375} \cdot (-0,625) = 114,88.$$

$$\bar{u}_3 = \frac{32,67}{0,375} = 87,12, \quad \bar{u}_4 = 30,62 - \frac{32,67}{0,375} \cdot 0,5 = -12,94.$$

Отримані розв'язки збігаються з розв'язками отриманими безпосередньо прямими обчисленнями. Вони вказують на суттєву зміну у функціонуванні допоміжного виробництва, зокрема, від'ємні показники вимагають зміни у структурі технологічних матриць як основного, так і допоміжного спектру галузей.

Отже, перехід до політики енергоефективності шляхом залучення “зелених інвестицій” потребує врахування екологічного фактору в сучасній системі подальшого розвитку цивілізації, обумовлює актуальність розгляду виробничої діяльності суспільства в рамках єдиної соціо-еколого-економічної системи. При цьому важливою вимогою її існування є необхідність збалансування інтересів кожної з вказаних підсистем. Ефективним інструментом для цього слугують балансовий метод та відповідні розроблені на його основі моделі. Зміна коефіцієнтів технологічних матриць відображає зміну міжгалузевих зв'язків, їх структуру, що може бути обумовлено відповідними нормативними рішеннями щодо зменшення обсягів емісій парникових газів, підвищення енергоефективності, впровадження результатів науково-технічного розвитку тощо. Запропонований у статті алгоритм дозволяє провести оцінку розв'язку у випадку такої структурної перебудови. В якості подальшого розвитку запропонованої теорії можна вказати на шлях переходу до вивчення питань агрегування балансової схеми “витрати-випуск”, визначення певного коридору допустимих змін з метою досягнення цільового орієнтуру по обсягам галузевих випусків.

### **6.6. Екологічні аспекти спалювання низькокалорійних органічних палив**

**© Плашихін С. В.**

*к.т.н., доцент кафедри кібернетики хіміко-технологічних процесів,  
Національний технічний університет України  
“Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського”, м. Київ, Україна*

**© Бикоріз Є. Й.**

*н.с., Інститут технічної теплофізики НАН України, м. Київ, Україна*

**© Корінчук К. О.**

*н.с., Інститут технічної теплофізики НАН України, м. Київ, Україна*

При спалюванні твердого палива вся його маса перетворюється у відходи, причому продукти згоряння в 4 рази перевищують масу використаного палива за рахунок включення азоту і кисню повітря.

Всі паливоспалювальні установки щорічно викидають в атмосферу Землі більше 200 млн. т. окису вуглецю, 150 млн. т. двоокису сірки, 50 млн. т. оксидів азоту, 250 млн. т. дрібнодисперсних аерозолів.

На вітчизняних паливоспалювальних установках, які працюють на твердому паливі, дотепер очистка димових газів здійснюється тільки від золи (з усередненою ефективністю до 95 % і концентраціями викидів 1000 – 2500 мг/м<sup>3</sup>, за нормами ЕС – 50 мг/м<sup>3</sup>). Димові гази зовсім не очищуються від оксидів сірки та азоту. Рівні викидів забруднюючих речовин в атмосферу при спалюванні різних видів палива та ставки податку за викиди в атмосферне повітря окремих забруднюючих речовин стаціонарними джерелами забруднення представлені в табл. 6.17, 6.18.

За розрахунками відповідно до даних табл. 6.17, 6.18 шкідливі викиди димових газів котла потужністю 1 МВт, що працює на кам'яному вугіллі 4400 год./рік, мали б оподатковуватися у сумі 201270 грн.

*Таблиця 6.17*

#### **Рівні викидів забруднюючих речовин в атмосферу при спалюванні різних видів палива**

Вид палива	Викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря без систем очищення, тонн на 1 тис. тонн нат. палива				
	CO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	Тверді частинки (пил неорганічний)	Всього
Природний газ	1,18	3,52	0	0	4,7
Древні брикети, пеллети	4,68	9,31	0,28	4,11	17,69
Деревина дров'яна	4,9	9,4	0,3	4,3	18,9
Тирса деревна	5	9,6	0,5	5	20
Древні відходи, обрізки	5,2	9,9	0,4	5,2	20,7
Швидкозростаюча деревина	4,8	9,5	0	8,4	22,7
Тріска, сучки, кора	5,6	11,4	0,8	13,4	31,3
Мазут	5,2	5,2	35,3	0,3	45,9
Брикет торф'яний	8,04	26,81	3	13,02	50,87
Кам'яне вугілля	9,58	63,56	9,2	65,32	147,66

*Джерело: [6]*

За матеріалами 15-го енергетичного Конгресу в Мадриді (1992 р.) соціально-економічні втрати від різних шкідливих викидів оцінювались такими величинами:  $\text{SO}_2$ -9,0;  $\text{NO}_x$ -1,7; пил (зола) – 11 (\$США/кг).

Скорочення запасів висококалорійних палив, таких як природний газ, нафта, вугілля та значне здорожчання їх видобутку, а також збільшення використання у теплоенергетиці та промисловості практично в усіх країнах визначило задачу використання відновлюваних енергоресурсів, дешевого місцевого вугілля, торфу, твердих відходів переробки зерна та деревини, збагачення вугілля.

Найбільш універсальним рішенням спалювання низькокалорійних палив є технологія спалювання в псевдозрідженому шарі (киплячому шарі – КШ), яка використовується в багатьох розвинутих країнах. Однак теплопродуктивність котлів з КШ в основному складає 10 – 30 кВт, що визначається економічними факторами.

Таблиця 6.18

**Ставки податку за викиди в атмосферне повітря окремих забруднюючих речовин стаціонарними джерелами забруднення**

Найменування забруднюючої речовини	Ставка податку, гривень за 1 тону
Азоту оксиди	2451,84
Ангідрид сірчистий	2451,84
Бензопірен	3121218
Вуглецю окис	92,37
Тверді речовини	92,37
Сірководень	7879,65
Сірковуглець	5120,56

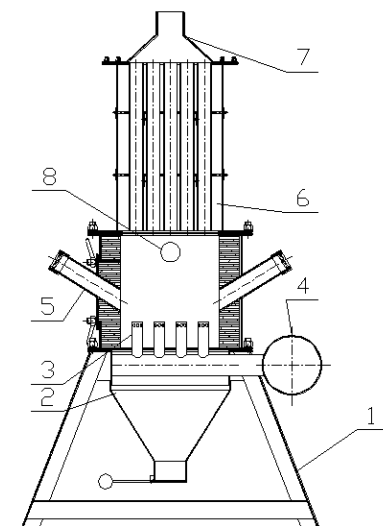
Джерело: [7]

В ІТТФ НАН України за участю авторів розроблено топку з низькотемпературним киплячим шаром (НТКШ) для спалювання низькоякісних твердих палив теплопродуктивністю 2 МВт на основі експериментальних досліджень на вогневій установці.

Дослідження спалювання низькоякісного вугілля в топці з НТКШ проводилися з метою визначення можливості спалювання низькоякісного твердого палива в топках котлів малої потужності. Для проведення експериментів була розроблена та виготовлена експериментальна вогнева модель топки. У ході експериментів визначені достатні та необхідні умови ефективної роботи топки: розпалювання вугілля; температурні та аеродинамічні режими стабільного горіння в НТКШ. Схема і фотографія вогневої установки для дослідження процесів горіння у киплячому шарі наведені на рис. 6.12.

У ході експериментів проводились дослідження з визначення викидів токсичних речовин з продуктами спалювання в експериментальній топці з НТКШ з метою створення системи газоочищення у комплексі з котлом потужністю 2 МВт. У топці з НТКШ за рахунок низьких температур горіння ( $T = 1173 \div 1193 \text{ K}$ ) продукти спалювання мають незначну кількість монооксиду азоту, через те, що вони утворюються при температурі вище 1500 К. В той же час маємо великі концентрації оксидів сірки, закису азоту, золи та пилу.

Десульфуризація димових газів займає ключове місце в області охорони навколишнього середовища. У більшості країн з високим рівнем розвитку промисловості десульфуризація димових газів стала галуззю господарства зі значними капіталовкладеннями, управлінським, науково-технічним і виробничим апаратом, з законодавствами, нормативами в області проектування і експлуатації установок очистки газів від оксидів сірки.



- 1 – основа;
- 2 – зольний бункер;
- 3 – повітрярозподільча решітка;
- 4 – патрубок для підводу дуттьового повітря;
- 5 – двері з пристроєм для спостереження за горінням;
- 6 – димогарна конвективна частина;
- 7 – патрубок для виходу димових газів;
- 8 – отвір для шнека подачі палива

Рис. 6.12. Схема вогневої установки для дослідження процесів горіння у киплячому шарі  
Джерело: [9, с. 113]

Класифікація методів десульфуризації димових газів, що містять SO<sub>2</sub>, може здійснюватися за різними ознаками: за типом і характером процесу, типом вживаного сорбенту, типом одержуваного продукту і т.д. Прийнята в Європейській економічній комісії ООН (ЄЕК ООН) класифікація розбиває всі методи десульфуризації за однією з характерних ознак процесів – не регенераційні (не циклічні) і регенераційні (циклічні) [5, с. 28]. Найбільш раціональною класифікацією методів є така, яка дозволяє охарактеризувати фізико-хімічну сутність процесу і підкреслити його технологічні особливості. З цієї точки зору класифікаційна схема методів десульфуризації димових газів може бути представлена в наступному вигляді (рис. 6.13).

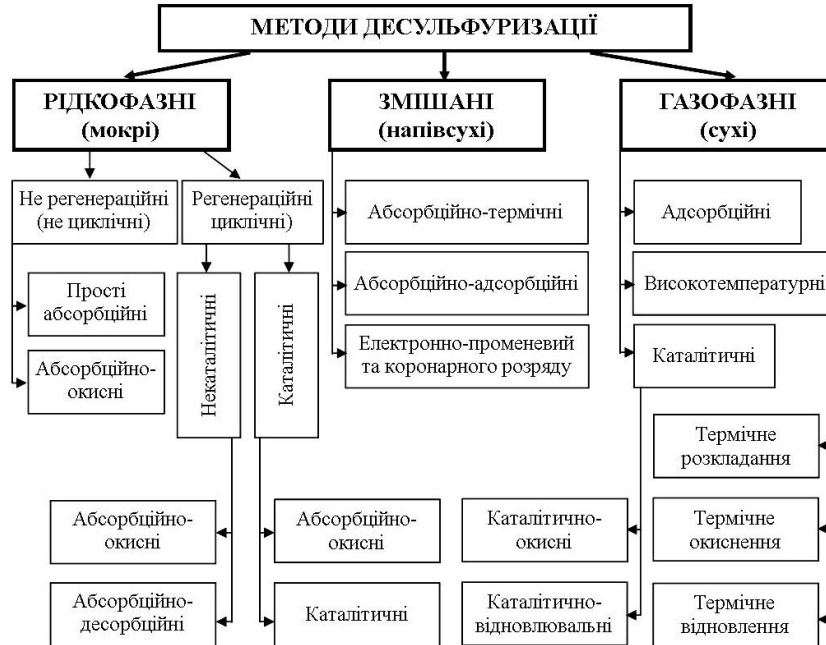


Рис. 6.13. Класифікаційна схема процесів десульфуризації димових газів

Джерело: авторська розробка

В початковій постановці вирішення проблеми десульфуризації газів, в тому числі і димових газів за котлами, в яких спалюється відновлювальні енергоресурси (солома, відходи переробки деревини, зернових), дешевого місцевого вугілля, торф, виходили насамперед з задачі зниження викидів SO<sub>2</sub>.

Такий односторонній підхід до проблеми призвів до того, що для досягнення поставленої мети в країнах Центральної Європи, США, а також в Японії найбільшу підтримку та поширення набули технології десульфуризації, в основі яких використовувалися рідкофазні методи абсорбційної очистки газів. Такі тенденції характерні для кінця 60-х першої половини 70-х рр., які, в свою чергу, привели до виникнення нових проблем, пов'язаних з охороною навколишнього середовища. Застосування методів лужного, подвійного лужного, вапнякового чи вапняного очищення [5, с. 28] (установки першого покоління) тягне за собою утворення великих кількостей твердих і рідких відходів, для яких необхідно відводити спеціальні площі, а в деяких випадках піддавати похованню на звалищі одержувані продукти, що може призвести до отруєння ґрунтових вод.

При десульфуризації димових газів електростанцій за допомогою рідкофазних методів можна отримувати різні продукти залежно від типу технології. Наприклад, на установці потужністю 500 МВт, що працює на вугіллі, при вмісті сірки – 3,5 % зі ступенем вилучення сірки з газу 95 %, утворюється [2, с. 26]: 90 т сульфітно-сульфатної пульпи або 45 т гіпсу, або 31 т сульфату амонію, або 23 т сірчаної кислоти, або 15 т діоксиду сірки, або 7,5 т сірки на годину.

У світлі нового підходу до проблеми десульфуризації газів, можливість використання цих продуктів визначає, яка з традиційних технологій очищення димових газів може бути застосована в конкретній ситуації.

У даний час не дивлячись на велику кількість робіт, що проводяться у всьому світі з очищення газів від діоксиду сірки, найбільшого поширення для очищення димових газів великих спалювальних установок отримали рідкофазні (мокрі) технології, це насамперед не регенераційний вапняний метод і регенераційний сульфіт-бісульфіт натрієвий метод [1, с. 44].

При спалюванні відновлювальних енергоресурсів (солома, відходи переробки деревини, зернових), дешевого місцевого вугілля, торфу з мінеральної частини утворюється шлак і летюча зола, що уноситься з топок потоком димових газів. Маса викиду золи з топок котлів істотно залежить від витрати палива, зольності, типу топкового пристрою, що впливає на кількість золи, що виноситься з точки та ефективності газоочистки.

Для зменшення викиду твердих частинок в атмосферу з котлів застосовується очищення димових газів в золоуловлювальних установках.

На золоуловлювання впливають наступні параметри летючої золи:

- розмір частинок ( фракційний склад);
- питома вага (щільність);
- фізико хімічний склад;
- питомий електричний опір.

Золоуловлювання засноване на виділенні з потоку димових газів твердих частинок під дією [3, с. 16]:

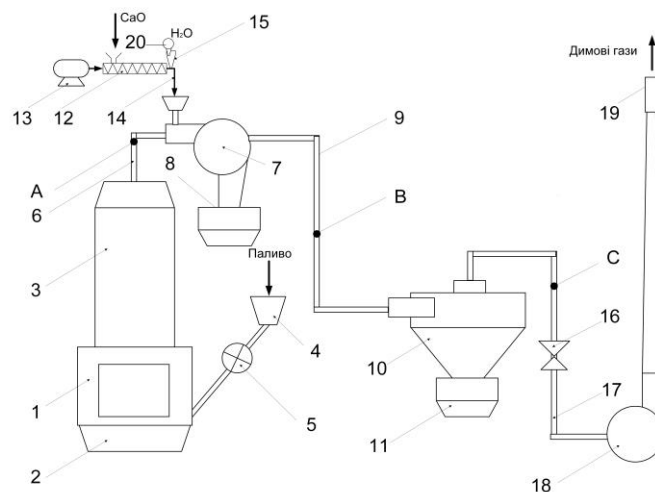
- гравітаційних або інерційних сил;
- молекулярних сил зчеплення частинок з плівкою води або краплями;
- електростатичних сил електричного поля;
- фільтрування через тканину або зернистий шар.

При виборі способу золоуловлювання (сухий або мокрий) слід враховувати фізико-хімічні властивості золи. При великій жорсткості змивної води (більше 20 мг-екв/л), а також для палив, в золі яких міститься більше 15 – 20 % оксиду кальцію або більше 1 % вільного вапна, застосування мокрих золоуловлювачів неприпустимо.

На основі аналітичного огляду методів очищення димових газів від SO<sub>2</sub> обрано NID технологія [4, с. 52], яка заснована на сухому способі з введенням в газовий потік тонкодисперсного порошку вапна і подачі компресором через форсунку води.

Дослідження ефективності роботи системи газоочиснення димових газів від котла потужністю 180 кВт проводилися на експериментальному стенді, схема якого представлена на рис. 6.14. Експериментальні дослідження проводилися при трьох режимах навантаження котлу – 50 % (90 кВт), 75 % (135 кВт) та 100 % (180 кВт) [8, с. 46].

Експериментальна установка (рис. 6.14) працює під розрідженням, яке створює димосос 18. Димові гази з котла надходять у газохід 6, де змішуються із сорбентом (CaO), що поступає через патрубок 14 в двоканальний відцентровий фільтр 7 (ЦФ1-2-0,6Г). В апараті відбувається процес десульфуризації й очищення димових газів від твердих часток. Уловлена зола та продукти десульфуризації потрапляють у бункер 8. Сорбент подають за допомогою шнекового підживлювача 12, який працює за рахунок електродвигуна 13, та зволожують шляхом тонкодисперсного розпилю води, що подається через патрубок 15 форсунками 20 типу “ТУМАН”. Масу сорбенту та об’єм води попередньо вимірюють за допомогою вагів.



**Рис. 6.14. Експериментальний стенд:**

1 – топка котла з колосниковою решіткою; 2 – бункер шлаку; 3 – теплообмінник; 4 – бункер подачі твердого палива; 5 – шнек для подачі палива; 6 – газохід після котла; 7 – двоканальний відцентровий фільтр ЦФ1-2-06Г; 8 – бункер для золи та продуктів сіркоочистки; 9 – газохід після двоканального відцентрового фільтру ЦФ1-2-06Г; 10 – шестиканальний відцентровий фільтр ЦФ2-6-06; 11 – бункер для золи та продуктів сіркоочистки; 12 – шнековий підживлювач для подачі сорбенту на вході у ЦФ1-2-06Г; 13 – електродвигун шнекового підживлювача для подачі сорбенту на вході у ЦФ1-2-06Г; 14 – патрубок подачі сорбенту на вході у ЦФ1-2-06Г; 15 – патрубок подачі води на вході у ЦФ1-2-06Г; 16 – шибера для регулювання димових газів; 17 – газохід після шестиканального відцентрового фільтру ЦФ2-2-06; 18 – димосос; 19 – димова труба; 20 – розпилювальна форсунка (A, B, C – точки для замірів)

*Джерело: авторська розробка*

Очищений газовий потік поступає через вихідну трубу двоканального відцентрового фільтра в газохід 9, а звідти – у шестиканальний відцентровий фільтр 10 (ЦФ2-6-0,6). В апараті відбувається відділення золи та продуктів десульфуризації від газового потоку. Вловлена зола та продукти десульфуризації потрап ляють у бункер золи 11; очищений газовий потік через газохід 13 виходить у димову трубу 19.

Для процесу напівсухої десульфуризації димових газів за розробленою Інститутом технічної-теплофізики НАН України методикою було розраховано необхідну кількість негашеного вапна та води для його гасіння в різних режимах навантаження лабораторної моделі котла. Результати цього розрахунку надано в табл. 6.19.

Таблиця 6.19

**Потреба в негашеному вапні та воді для його гасіння для процесу напівсухої десульфуризації димових газів**

Потрібна кількість речовини, кг/год.	Навантаження котла, кВт		
	90	135	180
Потреба в негашеному вапні $m_{CaO}$	1,984	2,976	3,968
Витрати води на гасіння вапна $m_{H_2O(CaO)}$	0,638	0,956	1,275
Витрати гашеного вапна $m_{(CaOH)_2}$	2,62	3,93	5,24

Джерело: розраховано авторами

Вимірювання масової концентрації і фізичних параметрів газового потоку в точках відбору проб виконували за допомогою газоаналізатора MRU Optima 7, який є багатофункціональним приладом із засобами відбору та підготовки проб до аналізу.

Під час дослідів використано експериментальні дані матеріальних потоків та складу відходів напівсухої десульфуризації димових газів у котлі (табл. 6.20).

Таблиця 6.20

**Експериментальні дані матеріальних потоків та складу відходів напівсухої десульфуризації димових газів у котлі**

Параметр	Навантаження котла, кВт		
	90	135	180
Витрати вугілля, В, кг/год.	19,5	27,3	39
Необхідна кількість повітря на спалювання В кг/год палива, $V_p$ , м <sup>3</sup> /год.	224	335	447
Дійсний об'єм продуктів згоряння палива, $V_r$ , м <sup>3</sup> /год.	408	612	816
Середня концентрація золи на виході з котла, $C_v$ , г/м <sup>3</sup>	2,66	2,89	2,77

Джерело: розраховано авторами

На основі експериментальних даних побудовано ряд залежностей, які характеризують ефективність роботи кожного рівня газоочистки та всієї системи газоочистки в цілому.

Графічні залежності аеродинамічного опору двоканального відцентрового фільтра ЦФ1-2-0,6Г, шестиканального відцентрового фільтра ЦФ2-6-0,6 та сумарного аеродинамічного опору системи газоочищення від витрат димових газів через апарат у режимах навантаження котла 50 % (90 кВт), 75 % (135 кВт) та 100 % (180 кВт) наведено на рис. 6.15.

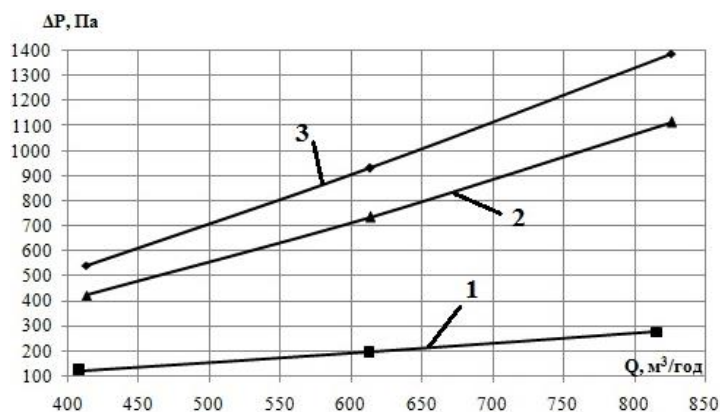


Рис. 6.15. Аеродинамічний опір системи газоочищення: 1 – двоканального відцентрового фільтра; 2 – шестиканального відцентрового фільтра; 3 – сумарний аеродинамічний опір системи газоочищення

Джерело: розраховано авторами

Експериментальні дані, отримані в результаті проведених лабораторних випробувань двоступінчастої системи газоочистки, наведено в табл. 6.21.

Таблиця 6.21

**Результати експериментальних досліджень ефективності  
очистки діоксиду сірки в системі напівсухої десульфуризації**

Параметр	Навантаження котла, кВт					
	90		135		180	
	розрахунок	експеримент	розрахунок	експеримент	розрахунок	експеримент
За котлом						
Об'єм димових газів, $V_{\Gamma}$ , м <sup>3</sup> /год.	408,0	408	612,0	612,0	816,0	816,0
Концентрація діоксиду сірки, $C_{SO_2}$ , г/м <sup>3</sup>	6,293	6,289	6,293	6,712	6,293	6,596
Концентрація діоксиду вуглецю, $C_{CO_2}$ , г/м <sup>3</sup>	371,950	372,171	371,950	369,88	371,950	388,54
Концентрація кисню, $C_{O_2}$ , г/м <sup>3</sup>	94,028	94,049	94,028	86,368	94,028	85,981
На виході з двоканального відцентрового фільтра						
Об'єм димових газів, $V_{\Gamma}$ , м <sup>3</sup> /год.	412,08	413	618,12	613	824,16	826,0
Концентрація діоксиду сірки, $C_{SO_2}$ , г/м <sup>3</sup>	3,147	3,682	3,147	3,535	3,147	3,624
Концентрація діоксиду вуглецю, $C_{CO_2}$ , г/м <sup>3</sup>	373,389	385,471	373,389	362,542	373,389	378,269
Концентрація кисню, $C_{O_2}$ , г/м <sup>3</sup>	97,029	85,267	97,029	89,896	97,029	89,884
На виході з шестиканального відцентрового фільтра						
Об'єм димових газів, $V_{\Gamma}$ , м <sup>3</sup> /год.	416,20	416	624,30	620	832,40	834
Концентрація діоксиду сірки, $C_{SO_2}$ , г/м <sup>3</sup>	2,832	3,249	2,832	3,286	2,832	3,328
Концентрація діоксиду вуглецю, $C_{CO_2}$ , г/м <sup>3</sup>	373,389	389,652	373,389	361,583	373,389	380,834
Концентрація кисню, $C_{O_2}$ , г/м <sup>3</sup>	98,082	89,856	98,082	92,568	98,082	91,714

Джерело: розраховано авторами

На рис. 6.16 наведено ефективність очистки твердих часток у двоканальному відцентровому фільтрі ЦФ1-2-0,6Г, шестиканальному відцентровому фільтрі ЦФ2-6-0,6 та сумарна ефективність системи газоочищення залежно від витрати димових газів через апарат.

Ефективність вловлювання твердих часток у двоканальному відцентровому фільтрі коливається в межах 60 – 70 %, а у шестиканальному відцентровому фільтрі – в межах 93 – 97 %; сумарна ефективність вловлювання твердих часток сягає 99 % (рис. 6.16).

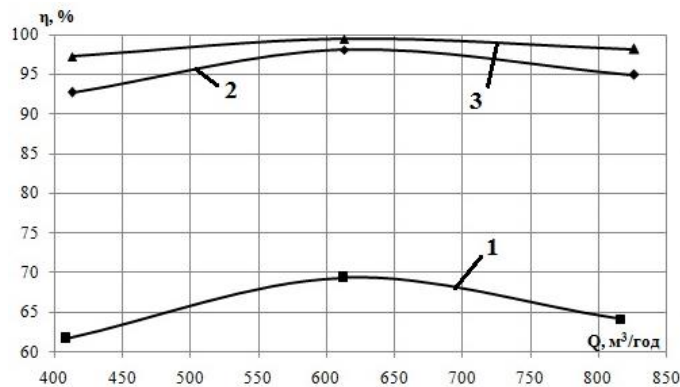


Рис. 6.16. Ефективність очистки твердих часток у системі газоочищення в цілому та її елементів окремо: 1 – у двоканальному відцентровому фільтрі; 2 – у шестиканальному відцентровому фільтрі; 3 – сумарна ефективність вловлювання твердих часток системи газоочищення

Джерело: розраховано авторами

Розподіл значень концентрації діоксиду сірки в системі газоочищення залежно від навантаження котла зображено на рис. 6.17, з якого видно, що усереднене значення ефективності очистки діоксиду сірки в двоканальному відцентровому фільтрі ЦФ1-2-0,6Г становить 40 – 50 %.

За рахунок додаткового зв'язування діоксиду сірки в газоході 9 (рис. 6.14) та шестиканальному відцентровому фільтрі ЦФ2-6-0,6 остаточна концентрація  $SO_2$  знижується ще на 10 – 15% – до 3,2 – 3,3 г/м<sup>3</sup>.

Отже, впровадження розробленої в ІТТФ НАН України топки потужністю 2 МВт дозволить замістити при виробництві теплової енергії в комунальній та промисловій теплоенергетиці природний газ низькоякісним паливом, що дасть змогу заощадити до 300 м<sup>3</sup> природного газу за годину, що становить близько 1300 тис. м<sup>3</sup> природного газу на одному котлі за опалувальний період. При прогнозуемій ціні природного газу 300 дол. за 1000 м<sup>3</sup>, вартість заміщеного газу складатиме до 390 тис. дол. США.



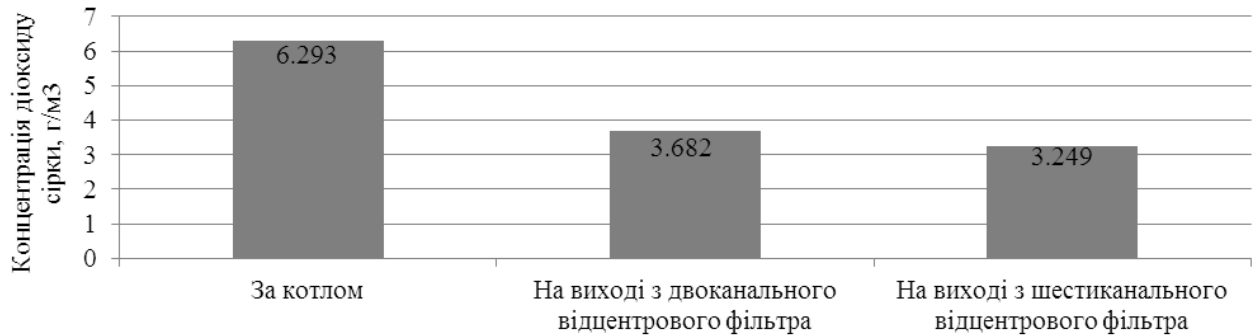


Рис. 6.17. Розподіл концентрації діоксиду сірки в системі газоочищення

Джерело: розраховано авторами

З 15 тис. котлів НИИСТУ-5, що експлуатується в комунальній теплоенергетиці можливо замінити на котли, що спалюють низькоякісне вугілля, тобто біля 6 тис. одиниць. Це дасть змогу заощадити до 30 млн. м<sup>3</sup> природного газу.

Найбільш доступним доцільним способом очищення димових газів від діоксиду сірки є напівсухий спосіб очищення. Експлуатаційна вартість очищення димових газів даним методом може досягати 0,2 ... 0,6 грн/кВт. Введення в димові гази до 3,97 кг/год. реагенту CaO та близько 1,27 кг/год. тонкорозпиленої води дало можливість знизити концентрацію SO<sub>2</sub> у димових газах з 6,3 до 3,2 г/м<sup>3</sup>, при цьому загальна ефективність сіркоочистки досягла 60 %.

### 6.7. Екологічні аспекти сільськогосподарського виробництва

© Кірейцева О. В.

*к.е.н., доцент, доцент кафедри глобальної економіки,*

*Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ, Україна*

© Сокол Л. М.

*к.е.н., доцент кафедри глобальної економіки,*

*Національного університету біоресурсів і природокористування України, м. Київ, Україна*

Традиційно вважалося, що основними порушниками природної рівноваги є промисловість і транспорт, а можливий шкідливий вплив сільського господарства на навколишнє середовище тривалий час недооцінювався. У сучасних умовах розвитку сільськогосподарського негативний вплив на природу в багатьох випадках стає значно серйознішим, ніж вплив інших галузей суспільного виробництва. Саме з розвитком сільського господарства пов'язані зростання дефіциту водних ресурсів на великих територіях нашої країни, зменшення видового різноманіття рослинного і тваринного світу, засолення, заболочування і виснаження ґрунтів, накопичення у ґрунті, воді і культурних рослинах низки особливо стійких і небезпечних забруднюючих речовин. Стаття спрямована на дослідження екологічних аспектів сільськогосподарського виробництва. Зосереджено увагу на методичних та науково-практичних рекомендаціях вирішення екологічних проблем при впровадженні концепції сталого сільськогосподарського природокористування.

Недостатнє зосередження на екологічних проблемах сільськогосподарського виробництва (забруднення води, землі та повітря, теплове забруднення, ГМО), в свою чергу перешкоджає повноцінному забезпеченню здорового харчування населення та продовольчої безпеки.

Кожна галузь сільського господарства по-різному впливає на навколишнє середовище. Так, землеробство призводить до забруднення ґрунтів залишками мінеральних добрив та засобів захисту рослин, досить помітно змінює водний баланс і гідрологічний режим агроландшафтів. Створення великих відгодівельних комплексів часто супроводжується забрудненням ґрунтів і вод екскрементами тварин, нагромадженням гною. Нагальну проблему становить забруднення поверхневих вод відходами боєнь, м'ясопереробних і молочних підприємств.

Основні екологічні проблеми ведення сільського господарства в Україні залишаються [1]:

- високий рівень розораності сільськогосподарських угідь та неефективне використання високого біопотенціалу родючих земель;
- ріст валових зборів сільськогосподарських культур відбувається за рахунок збільшення посівних площ під експортно-орієнтоване споживання;
- необґрунтоване використання засобів захисту рослин, добрив, що з одного боку підвищує врожайність сільськогосподарських культур, а з іншого погіршує природні властивості ґрунтів;

- родючий стан ґрунту та його природна структура погіршується від водної та вітрової ерозії;
- значний рівень забруднення сільськогосподарських угідь регіону радіонуклідами внаслідок Чорнобильської катастрофи;
- використання прісної води для зрошення угідь та інших сільськогосподарських потреб;
- забруднення ґрунтових вод через інтенсивне агропромислове виробництво призводить до погіршення якості питної води (збільшився вміст нітратів, фосфору, органічних сполук, спостерігається бактеріологічне забруднення).

Серйозні проблеми для навколишнього середовища виникають у зв'язку із застосуванням у сільському господарстві мінеральних добрив. Внесені на поля, вони лише частково поглинаються рослинами. Значна кількість азоту і фосфору потрапляє в ґрунтові і підземні води, а з них мігрує до рік і озер. Найбільше їх накопичується в слабопроточних водоймах.

За останні 20 – 40 років значно зросло надходження у водойми стоків, що містять сполуки азоту і фосфору. Це пов'язано із зливом з полів добрив і залишків пестицидів. Внаслідок цього відбувається евтрофікація водойм, спостерігається посилений розвиток фітопланктону, водоростей, цвітіння води та ін. У глибинній зоні посилюється анаеробний обмін, нагромаджується сірководень, аміак тощо. Порушуються окислювально-відновлювальні процеси і виникає дефіцит кисню, що викликає загибель цінних видів риби і рослин, вода стає непридатною не лише для пиття, а навіть для купання. Така евтрофікована водойма втрачає господарське і біогеоценотичне значення. На 1 кг фосфору, що потрапив у водойму, утворюється 100 кг фітопланктону (інтенсивний ріст фітопланктону відзначається за концентрації фосфору 0,09 – 1,8 мг/л, нітратного азоту 0,9 – 3,5 мг/л) [6].

На основі результатів аналізу якості питної води Санітарно-епідеміологічною службою одного з сільськогосподарських районів Київської області здійснено оцінку відповідності водних джерел нормативам якості питної води (згідно референтних значень нормативних документів) (табл. 6.22).

*Таблиця 6.22*

**Співвідношення кількості водних джерел Бориспільського району Київської області, що не відповідають нормам якості, до загальної кількості досліджуваних зразків води, %**

Якісний показник (його гранично допустиме значення)	Свердловини	Водогін	Криниці
Загальна жорсткість (не більше 7)	32	20	56
Мутність (не більше 1,5 мг/дм <sup>3</sup> )	43	50	21
Запах (не більше 2 балів)	–	–	11
Кольоровість (не більше 20 (35) градусів)	–	–	4
Вміст заліза (не більше 0,3 мг/дм <sup>3</sup> )	75	55	30
Вміст хлоридів (не більше 350 мг/дм <sup>3</sup> )	–	–	4
Вміст нітратів (не більше 45 мг/дм <sup>3</sup> )	2	–	22

*Джерело: [15; 16]*

Невідповідність нормам спостерігається переважно по органолептичних показниках та щодо вмісту заліза, хлоридів і нітратів. Основним джерелом надходження нітратів у водні джерела є сільськогосподарське землеробство.

У боротьбі зі шкідниками й хворобами застосовуються різні засоби (отрутохімікати, сівозміна, агротехніка), але проблема в цілому ще далека від розв'язання. Крім того, використання хімічних засобів захисту рослин призводить до збільшення забруднення довкілля.

За даними ЮНЕСКО [11], пестициди в загальному обсязі забруднення біосфери землі знаходяться на 8–9-му місці після таких речовин, як нафтопродукти, ПАР (поверхнево-активні речовини), фосфати, мінеральні добрива, важкі метали тощо. Потенційна загроза від їх використання полягає як у гострій токсичності при потраплянні в організм людини або тварин, так і в хронічній дії, в міграції залишків пестицидів водними і повітряними шляхами на значні відстані.

Ефективність сільськогосподарського виробництва значною мірою залежить від стану ґрунтів, а також від дотримання правил агротехніки і впровадження інноваційних технологій. На даний час стан земель України, що знаходяться у сфері сільськогосподарської діяльності, залишається незадовільним. Проведені в країні перетворення земельних відносин дещо змінили структуру земельного фонду, але не привели до суттєвого зниження антропогенних впливів на ґрунтовий покрив, що викликають процеси деградації ґрунтів [8].

Відомо, що для утворення ґрунтового шару завтовшки 1 см природі потрібно в середньому від 100 до 400 років залежно від природно-кліматичних умов [8]. Людина ж здатна виснажити або знищити шар ґрунту такої товщини за один-два сезони. За історичний період було втрачено майже 2 млрд га земель – виведено із сівозмін або перетворено на пустелі.

Надзвичайно негативний вплив на сільськогосподарські території має вітрова та водна ерозія ґрунтового покриву, яку більшою мірою спричиняють порушення агротехнічних правил обробітку ґрунту.

За даними В. В. Горлачук, О. М. Гаркуша, В. Г. В'юн та інші [17, с. 44 – 47], загальна площа еродованих земель в Україні становить майже 13 млн га сільськогосподарських угідь, або понад 35 % їх загальної площі. Щорічне збільшення площі еродованих земель становить в середньому 80 – 120 тис. га. На підставі показників річних втрат ґрунту від водної і вітрової ерозії на незахищених землях проведено розрахунок, який свідчить, що при відсутності протиерозійного захисту щорічно на сільськогосподарських угіддях в Україні втрачається понад 800 млн т ґрунту, або 26 млн т гумусу, в якому міститься 1,2 млн т азоту, 0,9 млн т фосфору і 13,9 млн т калію (табл. 6.23).

Таблиця 6.23

**Показники річних втрат ґрунту від ерозії ґрунтів в Україні, т/га**

Види угідь і ступінь змитості	Втрати ґрунту, т/га		
	Степ	Лісостеп	Полісся
Водна ерозія ґрунтів			
Рілля слабозмиті	10,37	9,84	7,86
середньозмиті	31,12	29,51	23,58
сильно змиті	63,50	59,71	50,01
Багаторічні насадження слабозмиті	9,58	9,31	7,19
середньозмиті	28,73	27,92	21,56
сильно змиті	58,89	56,38	46,75
Сіножаті і пасовища слабозмиті	10,92	9,27	7,57
середньозмиті	32,72	27,77	22,69
сильно змиті	66,44	56,23	48,80
Вітрова ерозія ґрунтів			
Рілля Північний і Центральний степ	7,13	–	–
Південний степ	26,48	–	–
Лісостеп	0,53	–	–
Полісся	0,43	–	–

Джерело: [17]

Втрати гумусу, поживних речовин, зумовленого ерозією ґрунтів супроводжуються втратами частини урожаю сільськогосподарських культур. Наприклад, на сильно змитих ґрунтах Лісостепу – 12,1 ц/га зернових культур, а у Поліссі – 10,4 ц/га (табл. 6.24) [17, с. 44 – 47].

Таблиця 6.24

**Річні економічні збитки від ерозії ґрунтів в Україні**

Збитки	Втрата умовно чистого доходу	
	млн дол. США	%
Прямі збитки, всього	565	22,5
у т.ч. від водної ерозії	246	9,8
від дефляції	319	12,7
Недобір урожаю	1695	67,5
Інші види (10 %)	251	10,0
Всього	2511	100,0

Джерело: [17]

Існує проблема відходів сільськогосподарського виробництва і пов'язаної з ним переробної промисловості.

Виведені за межі тваринницьких приміщень гнойові стоки підлягають утилізації. Стічні води очищають механічними і біологічними методами. Найпоширеніші поширені для механічного розподілу рідкої та твердої фракцій – відстійники. Для захисту довкілля від забруднення при використанні безпідстилкового гною необхідно застосовувати науковообґрунтовані норми внесення гною, а безпідстилковий гній вносити з урахуванням рельєфу в поєднанні з протиерозійним обробітком ґрунту, з розпушенням орного шару ґрунту, кротуванням, лункуванням тощо.

Високий енергетичний потенціал гною дозволяє використовувати його як харчовий субстрат для інших організмів, спрямовуючи їх потім на корм тваринам, та одержання пального для різнобічного застосування. Наприклад, гній від 50 свиней у 15-градусний мороз дає можливість, після відповідного перетворення, обігрівати приміщення площею 20 м<sup>2</sup>, а влітку нагрівати 1200 л води на добу [10].

Одним із шляхів раціонального використання енергії рідкого гною є його метанове зброджування, при якому знешкоджуються стоки, утворюється біогаз (метан) та зберігається гній як органічне добриво. Активність мікробної реакції значною мірою визначається співвідношенням вуглецю С та азоту N (оптимальне співвідношення C/N = 10 – 16). За добу з гною від однієї тварини можна одержати таку кількість біогазу: велика рогата худоба (масою 500 – 600 кг) – 1,5 м<sup>3</sup>; свиня (масою 80 – 100 кг) – 0,2 м<sup>3</sup>, курка, кріль – 0,015 м<sup>3</sup> [10].

Зрозуміло, що подальше нарощування рівня хімізації сільськогосподарського виробництва надовго заведе його у глухий кут. Потрібно замість традиційного сільськогосподарського виробництва, яке має за пріоритети максимальний врожай при найменших затратах праці, впроваджувати методи альтернативного (органічного) сільського господарства. Ідея органічного виробництва (землеробства) полягає у повній відмові від застосування ГМО, антибіотиків, отрутохімікатів та мінеральних добрив. Це призводить до підвищення природної біологічної активності у ґрунті, відновлення балансу поживних речовин, підсилюються відновлювальні властивості, нормалізується робота живих організмів, відбувається приріст гумусу і збільшується урожайність сільськогосподарських культур.

Вважається, що у світі близько 1 % орних земель використовується в умовах органічного землеробства. Лідерами із застосування його принципів органічного землеробства у світі є Швеція і Швейцарія – до 7 %. Обсяги продовольчих товарів, які виробляються в усіх системах альтернативного землеробства в США становлять 2,4 %, у Західній Європі – 0,1 – 0,8 % [9].

Останнім часом Україна привертає особливу увагу провідних біотехнологічних компаній, що зацікавлені у просуванні своєї продукції на нові ринки збуту. Так, за неофіційними даними, тільки за останні роки було засіяно генетично модифікованою соєю 45 % посівних площ цієї культури в Україні, а також картоплі та кукурудзи. Насіння, харчові продукти та продовольча сировина, що ввозиться в Україну, не реєструється та не перевіряється на вміст ГМО, а це, у свою чергу, має ризик неконтрольованої появи на продовольчому ринку продуктів харчування, що містять ГМО. Такий перебіг подій потребує від України встановлення правил біобезпеки, розробки нормативно-правових актів та державного контролю.

Основний виробник продукції із вмістом ГМО – США (68 %); Аргентина (11,8 %); Канада (6 %); Китай (3 %) [14].

Серед країн ЄС найбільша кількість зареєстрованих повідомлень про використання ГМО належить Франції (28 % від загальної кількості по країнах ЄС), Італії (15 %), Іспанії (14 %) та Великобританії (12 %) [5].

Останнім часом до цього процесу приєднались інші країни, в тому числі Україна та Російська Федерація [12].

На думку фахівців, впровадження ГМО має бути зваженим. З одного боку, потрібно враховувати переваги, які може забезпечити їх промислове використання, тоді як з іншого – необхідно гарантувати суспільству, що ці технології не завдаватимуть шкоди здоров'ю людини та довкіллю.

Встановлено, що можливими наслідками вживання людиною генетично модифікованих продуктів можуть бути: алергічні прояви; безпосередня токсична дія; поява стійкості мікрофлори до антибіотиків; потрапляння в організм людини гербіцидів.

При створенні ГМО використовуються маркерні гени стійкості до антибіотиків, які, потрапляючи в організм людини, можуть перейти у кишкову мікрофлору. Наслідком може стати неможливість лікування багатьох інфекційних захворювань. У країнах ЄС з грудня 2004 р. заборонено використання ГМО, що мають гени стійкості до антибіотиків [5].

Світове співтовариство приділяє велику увагу розробці науково обґрунтованих підходів до оцінки потенційного ризику при використанні ГМО, які б забезпечували належну охорону здоров'я людей і навколишнього середовища [14].

Єдиним шляхом виходу зі зростаючої кризи визнано перехід до принципів сталого розвитку на основі комплексного агроекологічного підходу до формування агроландшафтів і агроecosystem, активного застосування досягнень біотехнології, інформаційних технологій, принципів збереження й регулювання біорізноманіття тощо.

Аналітична частина збалансованого або сталого розвитку включає динаміку індикаторів сталості, що характеризують кількісні та якісні зміни у навколишньому природному середовищі внаслідок господарського впливу. Індикатори сталого розвитку можна розглядати на різних ієрархічних рівнях – глобальному, національному, регіональному, локальному, галузевому тощо (рис. 6.18).



Рис. 6.18. Концептуальна модель впровадження сталого розвитку

Джерело: авторська розробка

До основних економічних показників розвитку і прогресу належить об'єм валового внутрішнього продукту (ВВП) на душу населення, що відображає добробут суспільства. Вандана Шива (Vandana Shiva) [2] у своїх дослідженнях дійшла висновків, що економічний розвиток затьмарює собою ту бідність, яку він створює шляхом знищення природи, що в свою чергу призводить до появи націй, які не здатні самостійно себе забезпечити. Тому, ріст ВВП відображає швидкість перетворення природи у гроші, а планети – в сировину.

Міжнародними організаціями Організації Об'єднаних Націй розроблена методика оцінки розвитку людського потенціалу, яка враховує показники ВВП на душу населення, очікувану тривалість життя, рівень освіти, грамотність. Поширеним індикатором сталого розвитку є показник “зеленого” ВВП (GreenGDP, Environmentally-Adjusted Domestic Product, Eco-DomesticProduct), що враховує екологічний фактор. Загальний підхід до визначення економічної суті даного показника полягає у корегуванні суспільного продукту на основі змін екологічних активів, ресурсів і благ: різниця між показниками ВВП та економічними збитками від забруднення навколишнього природного середовища.

Слід зазначити, що на думку багатьох науковців, ВВП повинен враховувати економічні збитки від забруднення навколишнього природного середовища в декілька етапів: коли відбувається забруднення та коли ліквідується, якщо має негативний вплив на здоров'я населення і коли економічно стимулюється екологізація виробничих технологій.

Природні ресурси є складовими сільськогосподарської екосистеми. Для того, щоб земельні та водні ресурси лишались постійним джерелом багатства людей, засобами агропромислового виробництва, потрібна концепція сталого сільськогосподарського природокористування. Головна мета такої концепції – досягнення оптимального співвідношення між економічним зростанням, нормалізацією якісного стану природних ресурсів та задоволенням потреб населення. Концепція управління – це система ідей, принципів, уявлень, що зумовлюють мету функціонування об'єкта, механізми взаємодії суб'єкта та об'єкта управління [4].

Запровадження принципів сталого розвитку повинно відбуватись на основі отриманого досвіду про ведення сільського господарства, знань про ресурс, наукових розробок, підходів збереження ресурсів та впровадження екологічно безпечних систем управління у аграрних підприємствах.

Такі системи сприятимуть зниженню та усуненню негативного впливу на навколишнє середовище, налагодять продуктивність господарств та стабілізують відносини між аграрними підприємствами та сільськими громадами.

Концептуальна модель впровадження сталого розвитку передбачає вибір соціо-еколого-економічних пріоритетів розвитку аграрного сектору економіки, вибір та моніторинг індикаторів сталого розвитку, перебудову свідомості виробників та споживачів сільськогосподарської продукції та міжнародну співпрацю в даній сфері.

Управління сільськогосподарським природокористуванням неможливе без фінансового забезпечення, економічного стимулювання, обмеження, інституційної підтримки та законодавчо-нормативного забезпечення.

**6.8. Екологічні аспекти використання біогазового потенціалу твердих побутових відходів**

© **Приходько В. Ю.**

*к.геогр.н., доцент, доцент кафедри екології та охорони довкілля,  
Одеський державний екологічний університет, м. Одеса, Україна*

© **Сафранов Т. А.**

*д.г.-м.н., професор, завідувач кафедри екології та охорони довкілля,  
Одеський державний екологічний університет, м. Одеса, Україна*

© **Шаніна Т. П.**

*к.х.н., доцент, доцент кафедри екології та охорони довкілля,  
Одеський державний екологічний університет, м. Одеса, Україна*

У сучасних умовах зростання енергоспоживання і обмеженості паливних ресурсів велику увагу привертають альтернативні джерела енергії, до яких можна віднести тверді побутові відходи (ТПВ). У ТПВ міститься від 50 до 80 % (від сухої маси) органічних речовин, які обумовлюють теплотворну здатність: 2,2 – 6,5 Мдж/кг (залежно від морфологічного складу і сезону року) [13]. Проте пряме спалювання ТПВ з метою отримання теплової енергії не є доцільним з ряду причин – це і висока вологість відходів, отже, додаткові енерговитрати на спалювання, вторинне забруднення довкілля продуктами горіння. Перспективнішим напрямом використання енергетичного потенціалу ТПВ є отримання біогазу, теплотворна здатність якого, в середньому, складає 21 Мдж/м<sup>3</sup>, що еквівалентно 0,7 кг умовного палива [2; 5; 13].

Тому дослідження можливостей використання біогазового потенціалу ТПВ, техніко-економічних і екологічних аспектів його виробництва або отримання є актуальними. Використання відходів як вторинних енергетичних ресурсів визначене як один з принципів в Національній стратегії управління відходами в Україні до 2030 р. [4].

Мета цього дослідження – оцінити потенціал і екологічні аспекти отримання біогазу з ТПВ за різних моделей поводження з ними.

Методи дослідження: метод масового балансу, системний аналіз, моделі газоутворення.

При оцінці можливостей використання біогазового потенціалу ТПВ слід розглядати:

- 1) отримання біогазу з існуючих місць захоронення ТПВ;
- 2) виробництво біогазу в спеціальних установках;
- 3) вплив біогазу на стан довкілля (в т.ч. вплив процесів видобутку).

Наразі основним методом поводження з ТПВ у світовій практиці є їхнє захоронення на полігонах і звалищах. За даними Доповіді “What a Waste: a Global Review of Solid Waste Management” [17], більше половини ТПВ, що утворюються у світі, розміщується на звалищах і полігонах, причому, чим вище рівень соціально-економічного розвитку країни, тим більше полігони ТПВ відповідають основній вимозі – захисту довкілля від негативного впливу відходів.

За даними Міжурядової групи експертів з питань змін клімату (МГЕЗК) [6] у Західній Європі частка ТПВ, що розміщують на полігонах, склала 47 %, а в середньому по світу – 68 %. Очікується, що екологічні проблеми, пов’язані з ТПВ, тільки посилюватимуться, оскільки кількість відходів неухильно зростає: так, до 2025 р. у світі очікується подвоєння показників утворення ТПВ відносно показників 2012 р.; а до 2100 р. очікується потроєння маси утворених ТПВ на рівні 11 млн. т за день [17].

В Україні 94 % утворених ТПВ захоронюють на звалищах і полігонах, яких, за станом на 2016 р., налічувалося 5470. Практично усі офіційні місця видалення відходів експлуатуються з порушенням термінів експлуатації (15 – 20 років) і гранично допустимих обсягів розміщення відходів. За даними [4], 30 % місць поховання ТПВ не відповідають національним вимогам екологічної безпеки, і 99 % – вимогам європейського законодавства.

Для видобутку біогазу, який утворюється внаслідок анаеробної деструкції органічних відходів на полігонах ТПВ, є певні перспективи, які обумовлені такими причинами:

- 1) основним методом поводження з ТПВ залишатиметься їх захоронення;
- 2) неухильне збільшення норм накопичення ТПВ під впливом змін в споживанні і рівні соціально-економічного розвитку;
- 3) продукування біогазу впродовж тривалого періоду після закриття полігону (до 50 – 80 років).

Першим об’єктом в Україні, на якому була обладнана система збору біогазу, став Житомирський полігон ТПВ (1989 р.). Проте ця система так і не була запущена в дію [5]. Фактично збір і знешкодження біогазу (спалювання) з полігонів ТПВ розпочалося ще в 2003 р. на Луганському полігоні. А вже в 2012 р. з біогазу була отримана електроенергія (м. Київ). У 2014 р. на 12 полігонах ТПВ були обладнані системи збору біогазу. Станом на 2015 р., було зібрано 11,72 тис. т метану, з них 6,46 тис. т було використано для виробництва електроенергії [16].

Відомо, що біогаз є не лише альтернативним джерелом енергії, але й джерелом забруднення атмосферного повітря. Він складається, в основному, з метану (50 – 60 %) і вуглекислого газу (30 – 40 %), які є парниковими газами (ПГ). Це означає, що відсутність системи збору і утилізації біогазу робить місця захоронення ТПВ джерелом емісії ПГ.

Звалища і полігони ТПВ є третім за величиною антропогенним джерелом метану і забезпечують 11 – 12 % від його загальної кількості, що надійшла з антропогенних джерел в 2010 р. [3; 17].

Поводження з відходами розглядається як джерело емісії ПГ. Основні процеси, для яких проводиться інвентаризація викидів ПГ [16]: видалення відходів, біологічна обробка відходів, інсинерація і відкрите спалювання відходів, очищення і скид стічних вод. Усі ці процеси об'єднані в сектор “Відходи”.

За даними Національного Кадастру [16], у 2015 р. на частку сектору “Відходи” припало 4 % від загальних викидів ПГ і 19,3 % – метану. Відносно 1990 р., викиди ПГ в секторі “Відходи” зросли на 2 %. Частка метану в загальних викидах ПГ сектору складає 91 % (у CO<sub>2</sub>-екв.). Основний вклад в загальну емісію метану в секторі “Відходи” припадає на видалення відходів – 74 %. В порівнянні з 1990 р., в 2015 р. викиди метану із звалищ і полігонів зросли на 24,6 %.

Отже, використання біогазового потенціалу місць захоронення ТПВ дозволяє не лише отримати паливо і енергію, але і запобігти емісії ПГ в атмосферу, що є одним із зобов'язань України у рамках ратифікованого Кіотського протоколу.

Для оцінки емісії біогазу та/або його компонентів (зокрема, метану) використовують методи масового балансу і згасання (розкладання) першого порядку, в основу яких покладений процес анаеробної деструкції органічної речовини з утворенням відповідних продуктів розкладання. На основі методу згасання першого порядку розроблені дві найбільш використовувані моделі:

1) модель IPCC, запропонована МГЕЗК [6];

2) модель LandGEM (Landfill Emission Gas Model – LandGEM), розроблена Агентством з охорони довкілля США (U.S. EPA) [15].

В Україні використовуються модифіковані варіанти цих моделей, адаптовані до місцевих умов. Так, оцінка емісії метану з місць захоронення ТПВ при складанні Національного Кадастру проводиться за Національною багатокомпонентною моделлю на основі методу згасання першого порядку третього рівня деталізації (далі – Національна модель). Ukraine LFG Model – це адаптований до українських умов варіант моделі LandGEM, яка проводилася у рамках програми U.S. EPA's Landfill Methane Outreach Program.

Як відзначалося вище, біогаз з місць захоронення ТПВ може бути як вторинним матеріальним ресурсом, так і джерелом забруднення атмосфери. У першому випадку, при оцінці об'ємів утворення біогазу-ресурсу, більше орієнтуються на конкретний об'єкт – полігон або звалище ТПВ. Оцінку емісії ПГ проводять відносно територій, на яких розташовується сукупність місць захоронення ТПВ. Національна і IPCC моделі визначають масу лише метану, так званий “метановий потенціал”.

Отже, використовуючи моделі [6; 15; 16], можна оцінити:

1) метановий потенціал регіону як кількість метану, яка надходить до атмосфери від усіх місць захоронення відходів, розташованих на цій території;

2) метановий потенціал конкретного об'єкту захоронення ТПВ.

Модель LandGEM переважно орієнтована на об'єкт, а модель IPCC і Національна модель – на територію. Критичний аналіз моделей і адаптація їх до регіональних умов (на прикладі Одеської області) приведені в роботі [9]. Відмітимо, що Національна модель представляється найбільш опрацьованою і універсальною, може бути використана як для певного місця поховання, так і для територій регіонального і національного рівня організації.

Слід зазначити, що розрахункові значення емісії метану вищі за реальні (у 2 – 5 разів за даними [7]), які значною мірою визначаються складом відходів, технічними особливостями їх захоронення і експлуатації системи збору біогазу. До того ж, реально можливо відібрати не більше 70 % генерованого в тілі полігону біогазу [5].

Морфологічний склад депонованих ТПВ є основним фактором, який визначає утворення біогазу в тілі полігону. До компонентів, які містять біодоступний вуглець, відносять: папір і картон, харчові і садово-паркові відходи, деревину, текстиль, а також шкіру, гуму і засоби особистої гігієни. Усі вони розрізняються за вмістом біодоступного вуглецю (DOC<sub>j</sub>), швидкості розкладання і продукції метану (k<sub>j</sub>) і вмісту в загальній масі ТПВ (MWS<sub>j</sub>) (табл. 6.25). Наприклад, харчові відходи з найменшим вмістом біодоступного вуглецю, розкладаються найшвидше. А такий компонент, як деревина, розкладатиметься повільніше, але, у підсумку, продукує більше метану, аніж харчові відходи.

**Характеристика компонентів ТПВ, що здатні до біорозкладання**

№	Компонент	DOC <sub>1</sub> , тС/тТПВ	K <sub>12</sub> , год. <sup>-1</sup> )		MWS <sub>12</sub> , %	
			національний рівень	регіональний рівень	національний рівень	регіональний рівень
I	Папір та картон	0,40	0,048	0,024	14,6	15,0
II	Текстиль	0,24	0,048	0,024	4,0	3,0
III	Харчові відходи	0,15	0,110	0,120	33,1	27,5 (35)
IV	Деревина	0,43	0,024	0,012	1,7	2,5 (2,0)
V	Садово-паркові відходи	0,2	0,07	0,06	3,8	3,0 (10,0)
VI	Засоби особистої гігієни	0,24	0,048	0,120	1,1	–
VII	Шкіра, гума	0,39	0,048	0,012	1,7	1,9 (2,0)

<sup>1)</sup> дані регіонального рівня – дані для Одеської області [9]

Джерело: довідкові дані з [1, 14 – 16]

При розрахунках величини біогазового потенціалу ми рекомендуємо спиратися на регіональні значення відповідних параметрів, особливо – на дані щодо морфологічного складу ТПВ, які характеризуються значною варіабельністю, але саме вони, в основному, визначають величину генерації біогазу (відповідно до моделей газоутворення [6; 15; 16]). Приведені дані (табл. 6.25) дозволяють обґрунтувати інші моделі системи поводження з ТПВ, коли частина відходів використовується в якості вторинних матеріальних ресурсів, отже, не видаляється на звалища і полігони. Загально визнано, що захоронення є найменш ефективним і найменш привабливим варіантом поводження з ТПВ, то необхідно створити необхідні умови для розвитку другого напрямку, коли біогаз виробляють шляхом зброджування частини ТПВ в спеціальних установках. Для забезпечення біогазових установок сировиною необхідно здійснити перехід від валового збору ТПВ, коли усі відходи, без розділення на складові, розміщуються в контейнерах, до роздільного збору або, краще, до диференціації потоків ТПВ.

Авторами розроблена концепція поводження з ТПВ (далі – Концепція), яка дозволяє реалізувати принцип диференціації потоку ТПВ і досягти рівня “нульових відходів” [8]. Відповідно до цієї Концепції, загальний потік відходів в місці утворення розподіляється на такі потоки:

- 1) органічні речовини, що легко розкладаються;
- 2) потенційні вторинні матеріальні ресурси, в т. ч. інертні мінеральні великогабаритні відходи;
- 3) небезпечні відходи.

Принцип диференціації потоків ТПВ реалізується наступним чином. На початковому етапі життєвого циклу ТПВ необхідно забезпечити відділення потоку органіки, що легко розкладається, в момент її утворення. Потік потенційних вторинних матеріальних ресурсів розподіляється за складовими, а потік небезпечних відходів виділяється із загального потоку ТПВ за допомогою організації адресного збору компонентів. Для кожного з представлених потоків розроблені принципи управління та поводження, що дозволяють мінімізувати видалення відходів [8; 9]. Перевагою Концепції є те, що, відділяючи органічну фракцію, яка легко розкладається, із загального потоку ТПВ у момент утворення, ми тим самим підвищуємо ресурсну цінність як потоку вторинних матеріальних ресурсів, так і забезпечуємо екологічну чистоту продуктів біохімічної переробки органічних відходів, що легко розкладаються.

Для попередження зниження якості вторинних матеріальних ресурсів відділення органічної компоненти повинно відбуватися в мінімально короткі терміни після її утворення. Можливі три варіанти досягнення необхідної умови:

1) відділення органічних відходів, що легко розкладаються, від загального потоку відбувається у момент утворення цієї фракції за допомогою її подрібнення в диспозері з подальшою переадресацією в систему каналізації (висотні будинки і будинки підвищеної комфортності, об'єкти міської інфраструктури);

2) вилучення органічних відходів, що легко розкладаються, здійснюється за рахунок компостування, зброджування та/або вермікультування за місцем утворення (будинки приватного сектора);

3) виділення органічної фракції із загального потоку ТПВ проводиться шляхом організації “роздільного збору” за місцем утворення з переадресацією на підприємства по промислового виробництва біоорганічної продукції (для будь-якого типу селітебного району, але найбільш доцільне в районах типової забудови) [8].

Для потоку відділеної в момент утворення органічної фракції, що легко розкладається, розроблений спосіб комплексної утилізації, при якому її піддають послідовній обробці: анаеробній ферментації з отриманням біогазу і твердого продукту, а отриманий твердий продукт піддають аеробному компостуванню [12]. Технологічна схема реалізації цього способу утилізації органічних відходів представлена на рис. 6.19. Додатковим джерелом органічної сировини можуть бути промислові органічні відходи, що легко розкладаються (наприклад, від харчової промисловості), сільськогосподарські відходи і осади із загальноміських очисних споруд.



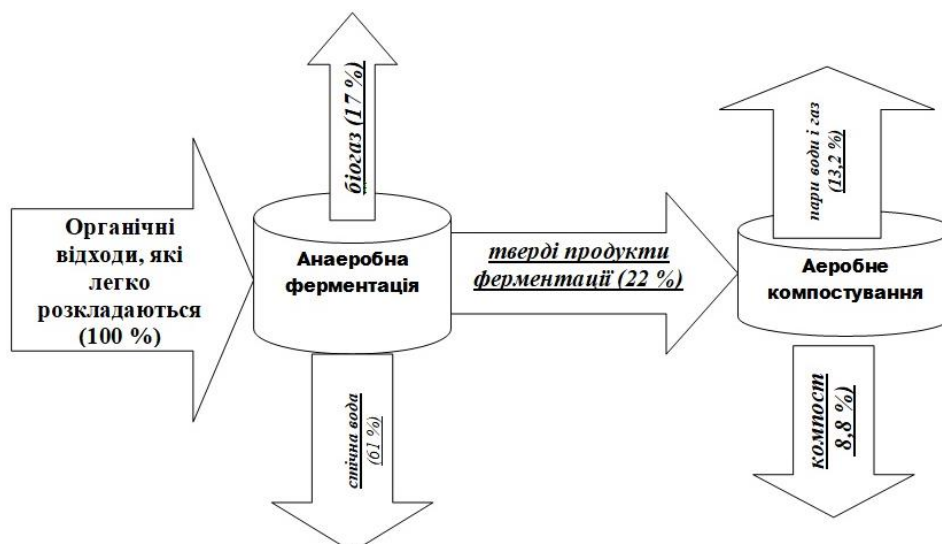


Рис. 6.19. Схема комплексної утилізації органічних відходів  
Джерело: авторська розробка (патент на корисну модель [12])

Диференціація потоку ТПВ дозволить більш ефективно використати біогазовий потенціал відходів. В якості прикладів, що ілюструють різні моделі поводження з ТПВ з точки зору оптимізації біогазового потенціалу відходів, розглянемо два варіанти і порівняємо їх з базовим методом поводження – видаленням усіх відходів на звалища і полігони (рис. 6.19). Кількісні оцінки моделей поводження з ТПВ виконані на прикладі Одеської області, яка є однією з найбільших областей України, за чисельністю населення займає 15 місце. Як показали проведені дослідження [10], проблема неефективного поводження з відходами є актуальною для Одеської області, де майже весь обсяг утворених відходів підлягає видаленню в спеціально відведених місцях. На сьогодні в Одеській області утворюється близько 5,6 млн. м<sup>3</sup> ТБО, а це 9 % від загального об’єму утворюваних відходів в Україні. У південному регіоні Одеська область є найбільш великим “утворювачем” ТПВ. Загальна кількість полігонів і звалищ в 2016 р. склала 608 площею 1274,9 га. Найбільший полігон області, що обслуговує Одеську агломерацію, – Дальницькі кар’єри – входить в сімку найбільш небезпечних полігонів ТПВ України.

В Одеській області є основа для створення ефективного системи поводження з ТПВ: існують організації по утилізації вторсировини, розроблена інтерактивна карта розташування міських пунктів прийому вторсировини і предметів, які вимагають особливої утилізації “Куди здати відходи” і т.п. Розроблена основа для ефективного управління і поводження з ТПВ – Програма поводження з ТПВ в Одеській області на 2013 – 2017 рр. Основними напрямками цієї Програми були: 1) будівництво нових полігонів (близько 40); 2) роздільний збір; 3) впровадження смітсортувальних комплексів; 4) будівництво заводів по переробці ТПВ (м. Ізмаїл, м. Котовськ). Але через відсутність фінансування програма не була реалізована. Нині розробляється новий проект Програми поводження з ТПВ в Одеській області на 2018 – 2022 рр.

Розрахунки утворення метану виконані за Національною моделлю з використанням уточнених даних по морфологічному складу ТПВ Одеської області [1] та інших параметрів [9]. Оцінка утворення метану та інших продуктів виконана для маси ТПВ, що утворюється за рік, і не враховує захоронення відходів за попередні роки. Відповідно до Звіту [1], в Одеській області в 2016 р. утворилося 922000 т ТПВ, з них 544,6 тис. т було захоронено на Дальницьких кар’єрах.

Перший варіант поводження з ТПВ (рис. 6.20, а) полягає в розміщенні усієї маси відходів на звалищах і полігонах. Як бачимо, в наступному 2017 р., з цієї маси в атмосферне повітря виділиться 1,6 тис. т метану.

Другий варіант (рис. 6.20, б) полягає в облаштуванні системи збору біогазу на полігоні Дальницькі Кар’єри. При цьому враховуємо, що максимально можлива кількість зібраного метану не перевищує 70 %.

Отже, розміщення річної маси відходів на полігоні забезпечить отримання приблизно 900 т метану за 2017 р. Якщо врахувати, що полігон експлуатується з 1968 р., то реальний об’єм метану, який можна отримати, буде на порядок вище. Більш детальні розрахунки не проводилися.

Третій варіант (рис. 6.20, в) полягає в реалізації Концепції на території Одеси, а також Біляївського, Овідіопольського і Білгород-Дністровського районів. Вибір цих районів обумовлений значними об’ємами відхідної “сировини” – за 2016 р. тут було згенеровано 581490 т ТПВ.

На початковому етапі впровадження Концепції, з компонентів ТПВ, які містять біодоступний вуглець (табл. 6.25) найбільш реально виділити і використати харчові, садово-паркові відходи і деревину, які можна розглядати в якості сировини для компостування. Припустимо, що рівень їх вилучення із загального потоку складе 100 %.

Отже, виключаючи харчові відходи із загального потоку ТПВ, отримаємо незабруднений потік вторинних матеріальних ресурсів, одним з компонентів якого є папір і картон, що характеризуються найбільшим вмістом біодоступного вуглецю. Відомо, що близько 15 % макулатури не придатні для переробки, отже, мають бути переспрямовані на полігони і звалища або для виробництва компосту. Припустимо, що достатньо повно утилізували шкіра, гума і текстиль.

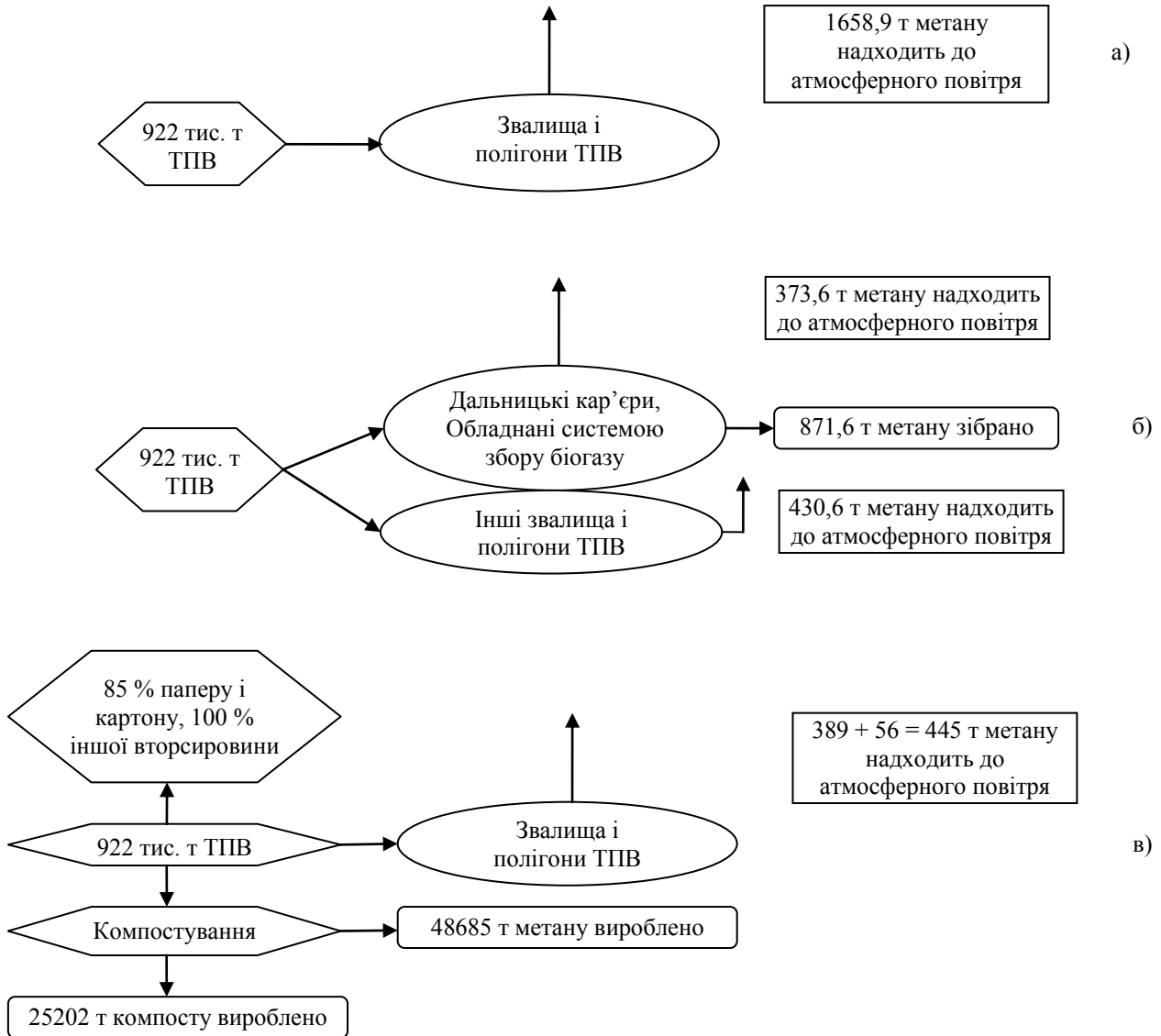


Рис. 6.20. Моделювання емісії метану за різних варіантів поводження з ТПВ (Одеська область)  
Джерело: авторська розробка

Маса харчових і садово-паркових відходів, а також некондиційної макулатури, які подаються на комплексну утилізацію за способом склади 286383,8 т. Переробивши ці відходи, отримаємо близько 25 тис. т компосту і 48 тис. т біогазу. З компонентів, що містять біодоступний вуглець, на захоронення спрямовуються лише засоби особистої гігієни. За рахунок цього на Дальницьких кар'єрах і звалищах Овідіопольського, Біляївського і Білгород-Дністровського районів утворюється 56 т метану за перший рік розміщення річної маси цих відходів. На звалищах інших районів області, де не реалізується Концепція і відбувається захоронення загального потоку ТПВ, за перший рік розміщення виділиться 389 т метану (від річної маси відходів).

Представлена модель (рис. 6.20, в) дозволяє оцінити кількість отриманих товарних продуктів з органічної вторсировини – компосту і біогазу, а також емісію ПГ внаслідок неможливості залучення деяких видів відходів у вторинну переробку. Модель (рис. 6.20, в) не враховує такі фактори:

- 1) глибину сортування і переробки окремих видів вторсировини, що залежить від готовності населення та наявності комплексів з переробки і утилізації відходів;
- 2) наявність відходів зі змішаних матеріалів, що потребують розділення на складові (наприклад, полімер і шкіра);

3) вторинні ефекти, що виникають внаслідок здійснення збору і переробки, – це емісія ПГ, пов'язана з витратою енергії на транспортування і переробку, відвернення викидів ПГ при роботі на вторинній сировині тощо.

Врахування всіх цих факторів, безумовно, зменшить вихід корисних продуктів.

У табл. 6.26 приведена оцінка вільного (у вигляді ПГ) і локалізованого (у вигляді енергоресурсу) виділення метану за різних варіантів поводження з відходами (рис. 6.20). Для розрахунку заміни котельного палива біогазом використаний множник 0,95 [2].

Таблиця 6.26

**Оцінка метанового потенціалу варіантів поводження з ТПВ**

Показники	1-й варіант (рис. 9.20, а)	2 варіант (рис. 9.20, б)	3 варіант (рис. 9.20, в)
Емісія ПГ			
Емісія метану, тCO <sub>2</sub> -екв.	34837	16888	9345
Отриманий біогаз			
Обсяг, м <sup>3</sup>	–	726,3 (14876) <sup>1)</sup>	40570,8
Обсяг заміни котельного палива, м <sup>3</sup>	–	690,0	38542,3

<sup>1)</sup> загальний обсяг метану за 50 років

*Джерело: розрахунки авторів*

Як видно з даних табл. 6.26 і рис. 6.20, впровадження Концепції дозволить максимально використати ресурсний потенціал компонентів ТПВ, що містять біодоступний вуглець. Значно більше біогазу можна отримати у разі відділення і подальшої комплексної утилізації компостованих компонентів ТБО – ця величина в 55 разів вища, ніж при видобутку біогазу з полігону ТПВ (за перший рік генерації) і в 2,7 разів вища за сумарний об'єм згенерованого за 50 років газу.

Отже, отримання біогазу в штучних умовах дозволяє набагато швидше і повніше отримати загальний обсяг метану, який утворюється при анаеробному розкладанні органічних речовин.

Впровадження Концепції дозволить значно підвищити можливості використання біогазового потенціалу ТПВ і додатково отримати високоякісні вторинні матеріальні ресурси, не забруднені харчовими відходами, і компост, вироблений лише з органічних відходів, отже, високої якості. Все це ілюструє перевагу Концепції перед традиційним роздільним збиранням.

## **6.9. Використання концентрованих відходів тваринницьких ферм для отримання біогазу**

© Бублієнко Н. О.

*к.т.н., доцент, доцент кафедри екології та збалансованого природокористування,  
Національний університет харчових технологій, м. Київ, Україна*

© Семенова О. І.

*к.т.н., доцент, завідувач кафедри екології та збалансованого природокористування,  
Національний університет харчових технологій, м. Київ, Україна*

© Сулейко Т. Л.

*асистент кафедри біотехнології і мікробіології,  
Національний університет харчових технологій, м. Київ, Україна*

Сталий соціально-економічний розвиток будь-якої держави, в тому числі й України, має супроводжуватись створенням та гарантуванням безпечного стану довкілля для життєдіяльності як суспільства, так і кожної пересічної людини, спираючись на систему правових приписів, яка базувалась би на гуманістичних та демократичних ідеях та принципах міжнародного права.

На сучасному етапі розвитку суспільних відносин в Україні питання щодо управління в галузі охорони довкілля, раціонального природокористування та забезпечення екологічної безпеки користується підвищеним інтересом з огляду на кризові екологічні показники в державі [1]. У цьому контексті взаємовідносини між сучасним виробництвом і природою виходять на новий рівень сприйняття. Ці взаємовідносини стосуються виробництва, розподілу, споживання та, особливо, утилізації відходів.

Сьогодні мало просто забезпечити виробництво необхідною суспільству кількістю продукції – відходи, що утворюються при виробництві цієї продукції повинні бути раціонально використані з досягненням найбільшого економічного, екологічного та соціального ефекту [2].

Кінцевою метою раціонального природокористування повинно бути максимальне залучення у виробництво сировини: чим менша відходоємність виробництва, тим вищий рівень розвитку продуктивних сил, тим більш економічно ефективно працює виробництво.

Так, у результаті розвитку агропромислового комплексу України виникають питання не тільки переробки сировини, але й утилізації відходів. І особливо гостро це питання стоїть щодо утилізації

відходів тваринницьких ферм – гною. Щорічно в АПК України утворюється близько 109 млн. т відходів, з яких 49 млн. т неефективно утилізуються або захоронюються, а 60 млн. т використовується з метою подальшої переробки [2]. До того ж, органічні відходи (такі як гній) можуть бути сприятливим середовищем для розвитку патогенної мікрофлори, містити насіння бур'янів та інших забруднень.

Сільське господарство має більший вплив на природне середовище, ніж будь-яка інша галузь народного господарства. Тому дослідження способів використання відходів тваринницьких ферм, у тому числі як джерел енергії є надзвичайно актуальним в контексті сталого розвитку регіонів.

На сьогодні немає єдиної технології переробки органічних відходів. В Україні зазвичай використовують екстенсивні та аераційні способи, що не можуть забезпечити необхідного зниження концентрації забруднень.

У багатьох країнах світу для утилізації та знешкодження органічних відходів використовують метанову ферментацію. Відомо, що відходи сільського господарства легко піддаються метановому бродінню і є значним резервом сировини для отримання метану. Для переробки цих відходів пропонується різне апаратне оформлення залежно від того, в якому вигляді рекомендується їх використання. Відходи можуть бути в твердому або рідкому вигляді, залежно від способу прибирання приміщень. Деякі спеціалісти схиляються до способу переробки відходів у твердому вигляді, що має недоліки пов'язані з необхідністю перемішування матеріалу, складністю безперервної його подачі у метантенк тощо [3].

Вважається за доцільне використовувати для оброблення сільськогосподарських відходів універсальну технологію, що застосовується для утилізації рідких відходів, тобто стічних вод підприємств харчової та мікробіологічної промисловості. Для цього потрібне деяке розбавлення твердих відходів, однак цей недолік перекивається перевагами, які дає безперервне бродіння рідких відходів, а саме: забезпечення рівномірної швидкості потоку субстрату в бродильному апараті і стійкості процесу бродіння, покращення можливості регулювання умов ферментації, уникнення необхідності постійного перемішування, повна автоматизація процесу. Крім того, в комплексах, де для прибирання приміщень використовують гідрозмив, гнойова маса вже має рідкий стан і готова для ферментації.

Для вирішення проблеми ефективного очищення та утилізації стоків з високою концентрацією забруднень необхідно розробити комплексну технологію, що поєднує перевагу всіх відомих зараз способів. Основу такої технології має скласти метанова ферментація як попередня стадія очищення.

Дослідження процесу метанового збродження відходів свиноферм здійснювали на базі кафедри екології та збалансованого природокористування Національного університету харчових технологій (м. Київ, Україна).

Метановому бродінню піддавалися відходи тваринницьких комплексів з вологістю 96,1 %, 93,8 % та 91,12 %. Вміст сухих речовин в стоках складав 39,15 г/дм<sup>3</sup>, 61,92 г/дм<sup>3</sup> та 88,63 г/дм<sup>3</sup> відповідно. Процес проводився при температурі 45°C, що, з одного боку, забезпечує необхідну інтенсивність процесу ферментації порівняно з мезофільним режимом, а з іншого – потребує менших енерговитрат, порівнюючи з термофільним режимом.

Для дослідження періодичного процесу були вибрані дози завантаження, що відповідають 30 та 50 % від загального об'єму культуральної рідини. При кількості субстрату 30 % залежно від вологості процес тривав 5, 7 та 9 діб, а при 50 % – вий дозі – 7, 9 та 12 діб відповідно. Показано, що при збільшенні дози завантаження та зменшенні вологості субстрату, загальний об'єм утвореного біогазу зростає. Так, при проведенні процесу бродіння з субстратом вологістю 96,1 % та зміною дози завантаження з 30 % на 50 %, загальна кількість утвореного газу зростає на 38,7 %. Це є характерним і для процесів з вологістю 93,8 та 91,12 %, де при збільшенні дози завантаження кількість біогазу зростає на 35,6 та 35,4 % відповідно. Результати досліджень по біогазу та хімічному споживанню кисню (ХСК) культуральної рідини (КР) наведені в табл. 6.27, 6.28.

Таблиця 6.27

**Вплив вологості субстрату та дози завантаження на об'єм біогазу**

Вологість субстрату, %	Доза завантаження, %	Об'єм біогазу дм <sup>3</sup> /дм <sup>3</sup> КР	Об'єм біогазу дм <sup>3</sup> /кг СР <sub>зав.</sub> <sup>1)</sup>	Об'єм біогазу дм <sup>3</sup> /кг СР <sub>збродж.</sub> <sup>2)</sup>
96,10	30	3,210	273	525
	50	5,240	260	578
93,80	30	5,202	280	588
	50	8,125	262	629
91,12	30	7,521	283	646
	50	11,750	265	694

<sup>1)</sup> СР<sub>зав.</sub> – сухої речовини завантаженої;

<sup>2)</sup> СР<sub>збродж.</sub> – сухої речовини збродженої

Джерело: розрахунки авторів

Одночасно показано (табл. 6.27), що питомий вихід біогазу на одиницю завантажених сухих речовин зменшується при збільшенні дози завантаження при однаковій вологості субстрату. Це свідчить про те, що підвищена кількість сухих речовин в культуральній рідині не дає змогу популяції мікроорганізмів здійснювати повну їх асиміляцію, що, в свою чергу, впливає на тривалість бродіння та підтверджується кінцевими значеннями ХСК (табл. 6.28).

Таблиця 6.28

Вплив вологості субстрату та дози завантаження на показники бродіння

Вологість субстрату, %	Доза завантаження, %	Вміст метану, %	pH кінцеве	ХСК кінцеве мг O <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	Ефективність очищення за ХСК, %
96,10	30	83,2	8	1047	91,5
	50	80,1	8,2	1220	90,3
93,80	30	80,9	8	1480	88,9
	50	74,5	8,2	1686	87,4
91,12	30	75,3	8,3	2445	87,8
	50	68,4	8,5	2680	86,2

Джерело: розрахунки авторів

Для визначення максимальної активності популяції метаноутворюючих мікроорганізмів проводилося щоденне вимірювання ХСК, кількості утвореного біогазу, вмісту метану в ньому. Динаміка утворення біогазу та зниження ХСК при зброджуванні субстрату однієї з вологостей (93,8 %) представлена на рис. 6.21.

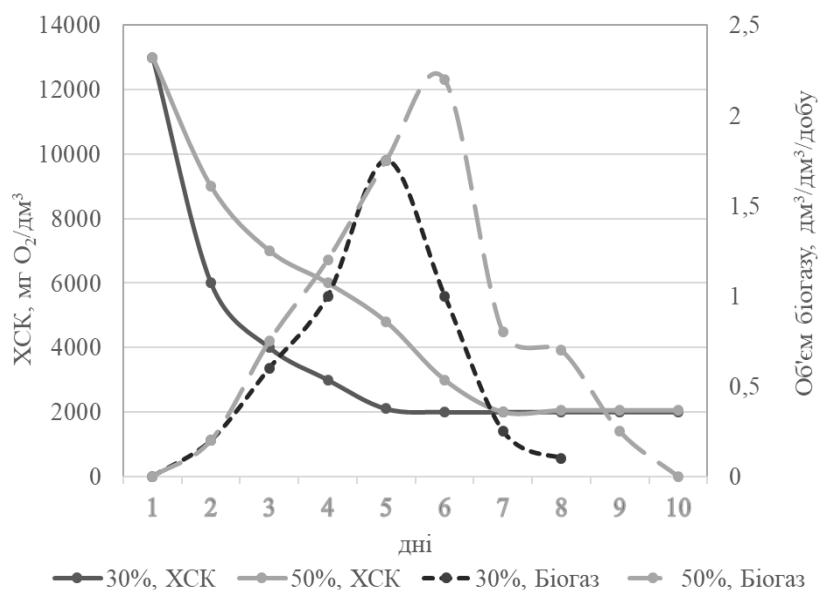


Рис. 6.21. Зміна об'єму біогазу та ХСК при вологості субстрату 93,8 %

Джерело: авторська розробка

Встановлено, що більші дози завантаження та концентрації сухих речовин субстрату негативно впливають на процеси метанотворення, що виявляється в зменшенні кількості метану в біогазі. Так, максимальна кількість метану в біогазі (83,2 %) була отримана при найбільшій вологості та дозі завантаження 30 %, а мінімальна (68,4 %) – при найменшій вологості та 50 % – вому завантаженні.

Дослідження процесів очищення показало, що збільшення концентрації сухих речовин у культуральній рідині веде до подовження тривалості адаптації культури, збільшення часу бродіння та зниження ефекту очищення (табл. 6.27, 6.28). Це, очевидно, пояснюється тим, що деякі компоненти субстрату проходять неповний шлях трансформації в гази, що спричинює їх накопичення в культуральній рідині. Також встановлено вплив концентрації субстрату та його дози на якісний та кількісний склад вітамінів кобаламінової групи. Виявлено, що при метановому бродінні стоків, кількість вітамінів зростає в порівнянні з початковими значеннями в 3,1 ... 6,6 рази. Результати досліджень вітамінного складу наведено в табл. 6.29.

**Кількісний та якісний склад кобаламінів в культуральній рідині**

Вологість субстрату, %	Доза завантаження, %	Загальна кількість вітамінів, мкг/г СР	Абсолютний склад кобаламінів, мкг/г СР			Відносний склад кобаламінів, %		
			фактор В	В <sub>12</sub>	фактор III	фактор В	В <sub>12</sub>	фактор III
96,10	30	30,4	11,61	16,17	2,61	38,2	53,2	8,6
	50	36,7	11,89	17,40	7,41	32,4	47,4	20,2
93,80	30	35,8	10,42	16,36	9,02	29,1	45,7	25,2
	50	43,4	10,63	17,92	14,84	24,5	41,3	34,2
31,12	30	38,5	9,12	15,71	13,67	23,7	40,8	35,5
	50	47,6	9,42	18,33	19,85	19,8	38,5	41,7

*Джерело: розраховано авторами*

Доведено, що зростання загальної кількості вітамінів при зменшенні вологості субстрату та підвищенні дози завантаження іде, в основному, за рахунок накопичення активної форми вітаміну (фактор III), тоді як приріст неактивної форми (фактор В) та істинного вітаміну В<sub>12</sub> незначний. Найрезультативнішим в цьому плані є використання субстрату з вологістю 91 ... 94 %, при 50 %-вій дозі завантаження.

Для дослідженні безперервного режиму бродіння був використаний субстрат з такими ж вологостями, як і при періодичному. Дози завантаження склали 10, 12 та 15 %, що відповідає швидкостям розбавлення  $4,2 \cdot 10^{-3}$ ,  $5,0 \cdot 10^{-3}$  та  $6,3 \cdot 10^{-3}$  год<sup>-1</sup> відповідно. Для стимуляції процесу вітамінівотворення застосовувалась сіль кобальту (CoCl<sub>2</sub>) в концентрації 5 мкг/дм<sup>3</sup>. Це дало змогу виявити вплив кобальту не тільки на процес вітамінівотворення, а й на інші показники бродіння.

Встановлено, що кількість виділеного біогазу із об'єму культуральної рідини знаходиться у прямо пропорційній залежності з дозою завантаження, та в обернено пропорційній із вологістю субстрату (рис. 6.22).

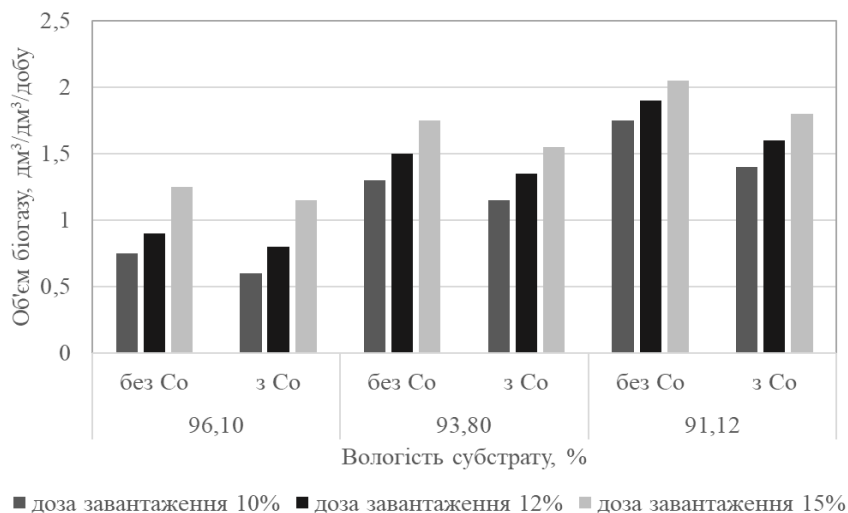


Рис. 6.22. Добовий вихід біогазу залежно від вологості субстрату, дози завантаження та солі Со

*Джерело: розраховано авторами*

Найменший вихід біогазу спостерігався при вологості субстрату 96,1 % та 10 %-ому завантаженні, а найбільший – при вологості 91,12 % та 15 %-му завантаженні. Але характерним є те, що при збільшенні дози завантаження та концентрації субстрату, величина приросту біогазу поступово зменшується. Це вказує на пригнічення процесу метаногенерації підвищеною кількістю поживних речовин субстрату, що не дає можливість популяції організмів активного мулу здійснювати повну трансформацію в біогаз. Ця ж думка має підтвердження при аналізі якісного складу біогазу, коли збільшення концентрації субстрату та дози завантаження приводить до зменшення вмісту метану в біогазі (табл. 6.30).

Істинний характер процесу метаногенерації можна виявити при розрахунках, що показують питому кількість синтезованого біогазу з одиниці завантаженої та зброженої сухої речовини субстрату. В цьому випадку тенденція виходу біогазу буде дещо іншою, ніж на рис. 6.22.

Таблиця 6.30

Показники процесу безперервного метанового бродіння при різних швидкостях розбавлення

Вологість субстрату, %	Швидкість розбавлення, $D \cdot 10^{-3} \text{ год}^{-1}$	без Со				з Со			
		Об'єм біогазу, $\text{дм}^3/\text{кг}$ $CP_{\text{зав}}$	Об'єм біогазу, $\text{дм}^3/\text{кг}$ $CP_{\text{збродж}}$	Глибина збродження за $CP$ , %	Ефект очищення за ХСК, %	Об'єм біогазу, $\text{дм}^3/\text{кг}$ $CP_{\text{зав}}$	Об'єм біогазу, $\text{дм}^3/\text{кг}$ $CP_{\text{збродж}}$	Глибина збродження за $CP$ , %	Ефект очищення за ХСК, %
96,10	4,2	202	477	42,3	88,82	180	477	37,7	87,99
	5,0	204	493	41,4	87,84	183	512	35,7	86,42
	6,3	215	551	39,1	86,76	202	601	33,6	84,46
93,80	4,2	220	524	42,1	83,09	187	525	35,7	81,99
	5,0	210	530	39,6	82,19	184	555	33,2	80,62
	6,3	193	672	28,7	80,82	175	732	23,9	78,97
91,12	4,2	197	510	38,7	81,09	167	513	32,5	80,50
	5,0	186	519	35,9	80,21	160	537	29,7	79,44
	6,3	156	620	25,2	78,74	135	658	20,5	77,84

Джерело: розраховано авторами

Як видно з результатів, представлених в табл. 6.30, кількість біогазу, що утворюється з одиниці завантаженої сухої речовини субстрату значною мірою залежить від концентрації завантаження та швидкості розбавлення. Максимальна продуктивність метану –  $220 \text{ дм}^3/\text{кг} CP_{\text{зав}}$  була отримана при швидкості розбавлення  $4,2 \times 10^{-3} \text{ год}^{-1}$  та дозі завантаження, що складає  $6,19 \text{ г} CP/\text{дм}^3/\text{добу}$ . Після чого спостерігається зниження кількості синтезованого біогазу. Це вказує на те, що при використанні різних субстратів існує деякий поріг концентрації та доз завантаження, за яким ефективність метанового бродіння знижується, оскільки сам субстрат або продукти його неповного розкладу гальмують процес. У нашому випадку ріст продукції біогазу спостерігався тільки при вологості субстрату 96,1 %, а при менших – відбувається зниження.

Розрахунки питомої кількості біогазу на одиницю збродженого субстрату показали, що найкращі результати можуть бути одержані при ферментації субстратів різної вологості з максимальною швидкістю протоку. Найбільший вихід –  $672 \text{ дм}^3/\text{кг} CP_{\text{збродж}}$  спостерігався при вологості субстрату 93,8 % з швидкістю розбавлення  $6,3 \cdot 10^{-3} \text{ год}^{-1}$ .

Досліди показали, що застосування солей кобальту з використаною концентрацією пригнічує процеси метаногенерації. Кількість газу при застосуванні солі кобальту зменшується на 11 ... 15,5 %, а вміст в ньому метану на 1,2 ... 1,8 %. Спостерігається чітка тенденція – чим більша концентрація субстрату, тим сильніше виявляється негативний вплив кобальту.

Показано, що зниження інтенсивності процесу очищення за ХСК має пряму залежність від вологості субстрату та обернену від швидкості розбавлення (табл. 6.30). Ефект очищення за ХСК за динамікою схожий на збродження субстрату за сухими речовинами. Тобто, чим більша концентрація субстрату і проток, тим менше популяція мікроорганізмів вилучає забруднень із культуральної рідини (рис. 6.23).

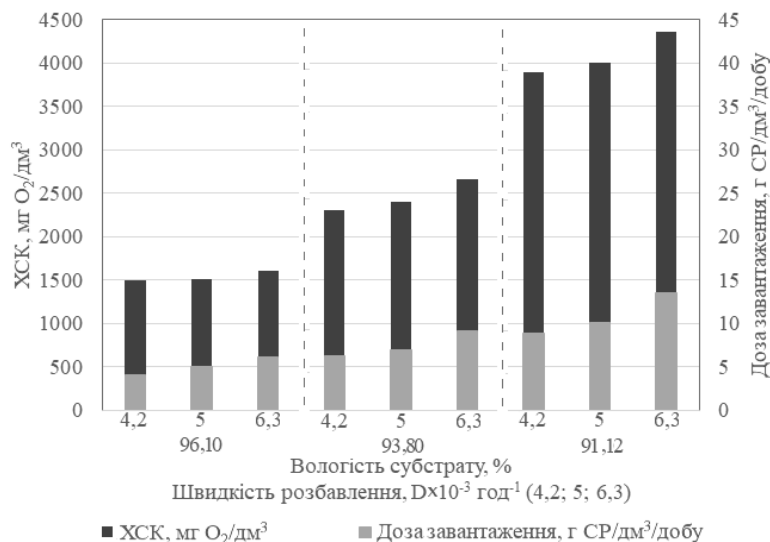


Рис. 6.23. Залежність ХСК культуральної рідини від дози завантаження та вологості субстрату  
Джерело: розраховано авторами

Найкращий ефект очищення (88,82 %) було досягнуто при використанні субстрату з максимальною вологістю та найменшим протоком. Це свідчить про те, що для існуючої асоціації мікроорганізмів найсприятливіші умови для асиміляції забруднень складаються тоді, коли концентрація забруднень в культуральній рідині не дуже велика. Це, в свою чергу, впливає на інтенсивність масообмінних процесів, сприяє кращому перемішуванню культуральної рідини, що зумовлює більшу взаємодію мікроорганізмів з речовинами субстрату.

Застосування солей кобальту чинить на процеси очищення пригнічуючу дію. При цьому збільшення швидкості розбавлення веде до зменшення ефекту очищення в середньому на 3,6 ... 10,7 % залежно від вологості субстрату.

Одночасно з процесами очищення та газогенерації при метановому бродінні гнойових стоків утворюється значна кількість вітамінів. Особливу увагу привертають вітаміни цианкобаламінової групи. При використанні біоавтографічного методу в збродженій культуральній рідині були зареєстровані такі форми вітамінів: В<sub>12</sub> та фактор III, що відносяться до активних форм, та неактивну – фактор В.

Визначення загальної кількості вітамінів показало, що при метановому бродінні можна отримувати культуральну рідину зі значним вмістом кобаламінів (табл. 6.31).

Таблиця 6.31

Загальна кількість вітамінів збродженій культуральній рідині

Вологість субстрату, %	Використання CoCl <sub>2</sub>	Вітаміни, мкг/г СР		
		Швидкість розбавлення D · 10 <sup>-3</sup> , год. <sup>-1</sup>		
		4,2	5,0	6,3
96,10	без CoCl <sub>2</sub>	24,40	22,53	21,22
	з CoCl <sub>2</sub>	28,79	26,39	23,94
93,80	без CoCl <sub>2</sub>	32,08	30,95	24,72
	з CoCl <sub>2</sub>	37,61	36,09	28,48
91,12	без CoCl <sub>2</sub>	43,75	42,37	33,65
	з CoCl <sub>2</sub>	45,56	44,03	34,49

*Джерело: розраховано авторами*

Їх вміст значною мірою залежить від характеристик субстрату та параметрів культивування і може коливатися в межах 21,2 ... 45,6 мкг/г СР. Доведено, що кількість вітамінів знаходиться в прямо пропорційній залежності від концентрації субстрату, а доза завантаження або швидкість розбавлення має обернено пропорційний вплив.

Характеристика субстрату та параметрів культивування мають значний вплив на якісний склад вітамінів кобаламінової групи. Дослідження показали, що кількість активних форм вітаміну є переважаючою та коливається в межах 19,6 ... 35,7 мкг/г СР. При збільшенні концентрації субстрату до середніх значень, кількість активних форм збільшується, але підвищення швидкості розбавлення негативно впливає на їх синтез, особливо на фактор III. Найкращі результати по співвідношенню активних та неактивних форм можна отримати при застосуванні субстрату з вологістю 93,8 % та швидкістю потоку, що відповідає 10 %-вій дозі завантаження.

Визначено, що використання кобальту в концентрації 5 мкг/дм<sup>3</sup> є доцільним тоді, коли метою ферментації є отримання вітамінів. В присутності солі кобальту загальна кількість вітамінів зростає на 2,4 ... 15 %. Але збільшення концентрації субстрату та швидкості потоку приводить до зниження позитивного впливу кобальту. Кобальт спричиняє стимуляцію синтезу таких форм кобаламінів, як фактор В (неактивна) та фактор III (активна), але при цьому дещо пригнічується синтез вітаміну В<sub>12</sub>, особливо при більшій концентрації субстрату.

Наступним етапом було розроблення технологічної схеми очищення та утилізації висококонцентрованих стічних вод. В основі схеми лежить збродження стоків в метантенку та їх подальша обробка (рис. 6.24). Для остаточного вилучення забруднень запропоновано двостадійний аеробний спосіб доочищення.

Оброблення стоків включає такі основні стадії: накопичення відходів в ємності 1; усереднення стоку в збірнику 2; подрібнення твердої фракції в подрібнювачі 3; нагрівання в теплообміннику 4; метанове збродження при постійній температурі у метантенку 5; розділення на фракції у центрифугі 9; зневоднення крупної фракції на барабанному вакуум-фільтрі 15 та висушування в апараті 14 з подальшою упаковкою для використання як органічне добриво; упарювання культуральної рідини в випарному апараті 10; залежно від виду готової продукції – сушіння в розпилювальній сушарці 11 та упаковка готової білково-вітамінної домішки в апараті 16, або змішування з зерновими висівками та висушування після екструдера 13 збагачених кормів в сушарці 14; упаковка готової продукції в апараті 16. Біогаз збирається у газгольдері 7 та використовується для обігрівання процесу, а його надлишок іде на виробництво електроенергії в газовому електрогенераторі 17. Доочищення стоків здійснюється в аеротенках за двоступеневою схемою з регенерацією активного мулу. Надлишковий мул використовується для виробництва добрив або зброджується у метантенку. Останнє дає змогу збільшити загальний вихід біогазу.



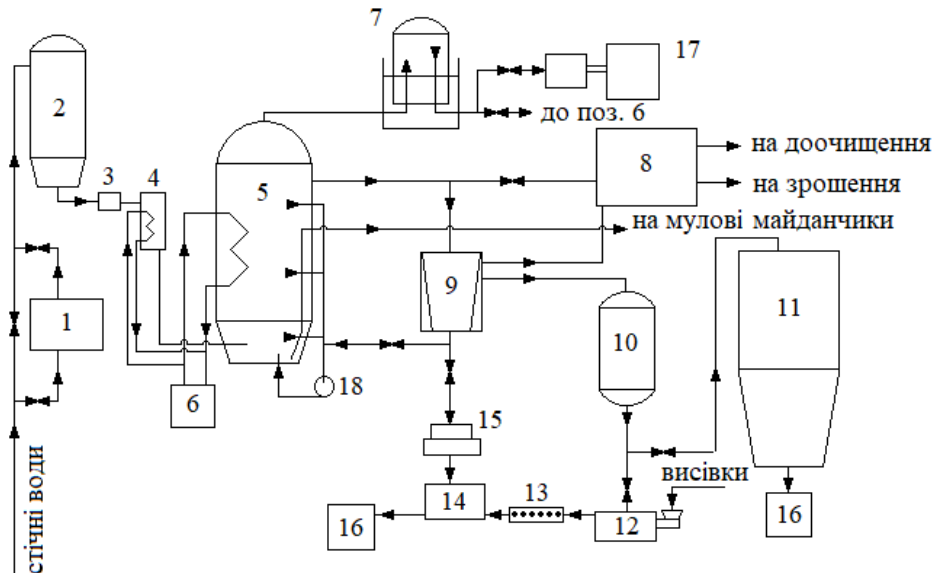


Рис. 6.24. Апаратурно-технологічна схема оброблення концентрованих стоків:

1 – накопичувач; 2 – збірник; 3 – подрібнювач; 4 – теплообмінник; 5 – метантенк; 6 – водогрійний котел; 7 – газгольдер; 8 – відстійник; 9 – центрифуга; 10 – випарний апарат; 11 – розпилювальна сушарка; 12 – змішувач; 13 – формувальний апарат; 14 – сушильний агрегат; 15 – барабанний вакуум – фільтр; 16 – фасувальний апарат; 17 – газовий електрогенератор; 18 – насос.

*Джерело: авторська розробка*

Для метанової ферментації стічних вод свиноферми на 3000 голів, при рекомендованих параметрах процесу, на самозабезпечення витрачається близько 51 % біогазу. Також встановлено, що глибина доочищення стічних вод в аеротенках становить 97,3 ... 98,4 %.

Отже, безперервну метанову ферментацію гнойових стоків необхідно застосовувати як першу стадію очищення, що дає можливість використовувати субстрати будь-якої концентрації. В результаті бродіння ефект очищення за ХСК становить близько 90 %. Чим більша концентрація субстрату та доза завантаження, тим менше значення цього показника. Кількість біогазу, який синтезується при бродінні, становить 0,8 ... 2,1  $\text{дм}^3/\text{дм}^3$  культуральної рідини. Збільшення швидкості потоку прямо пропорційно впливає на вихід газу, але приводить до зменшення в ньому метану та знижує глибину очищення. Метанова ферментація сприяє синтезу значної кількості вітамінів кобаламінової групи, більшість з яких є в активних формах. Змінюючи швидкість потоку та концентрація субстрату, є можливість регулювати вміст активних форм у суміші кобаламінів. Застосування  $\text{CoCl}_2$  в концентрації 5  $\text{мкг}/\text{дм}^3$  є доцільним, коли метою ферментації є одержання вітамінів, оскільки спостерігався регресивний вплив солей кобальту на процеси очищення та газогенерації.

Отже, використання метанової ферментації для утилізації висококонцентрованих гнойових стоків тваринницьких ферм належить до самоокупних, екологічно і економічно виправданих технологій. Адже, окрім практично повного вилучення забруднювальних речовин зі стічних вод, ця технологія дає можливість отримати альтернативне джерело енергії – біогаз, що є особливо актуальним в умовах необхідності забезпечення енергонезалежності України.

### 6.10. Підвищення енергетичної ефективності шляхом ресурсозбереження

© Кадол О. М.

*к.і.н., доцент кафедри інженерної педагогіки та мовної підготовки, ДВНЗ "Криворізький національний університет", м. Кривий Ріг, Україна*

© Кадол Л. В.

*к.тех.н., доцент кафедри економіки, організації та управління підприємствами, ДВНЗ "Криворізький національний університет", м. Кривий Ріг, Україна*

© Кравчук Л. М.

*ст. викладач кафедри економіки, організації та управління підприємствами, ДВНЗ "Криворізький національний університет", м. Кривий Ріг, Україна*

Загальновідомо, що значним резервом підвищення ефективності суспільного виробництва є запровадження ресурсозберігаючих технологій та використання вторинної сировини.

Використання вторинної сировини, втілення технологій ресурсозбереження надає можливість значно знизити витрати на енергоносії підприємств різних форм власності, що є досить наболілим та актуальним для них питанням і надасть можливість значно підвищити рівень їх конкурентоздатності.

Провідними країнами по переробці відходів є: Швеція, Німеччина, Швейцарія, Австрія.

В Україні вивчення промислових відходів як потенціальної мінеральної сировини почалося з 1993 р. з затвердженням Указу Президента України “Про геологічне вивчення і порядок використання техногенних родовищ корисних копалин України” [1].

На сьогодні Україна в руслі енергозбереження та ресурсозбереження вибрала для себе одним із пріоритетних напрямів розвитку спрямованість на ЄС, зокрема, шляхом приведення сучасного українського законодавства до європейських стандартів.

Як відомо, одним із основних нормативно-правовим документом ЄС щодо застосування відходів є Директива 75/442/EWG [2]. Ціль даного нормативного документу – це забезпечення єдиного законодавчого погляду в сфері контролю та моніторингу управління відходами, особливо шкідливими, для всіх членів ЄС з застосуванням досягнень науково-технічного прогресу. Директива 75/442/EWG надає правові основи щодо управління відходами – єдині визначення термінів і понять “відходи”, “пошук”, “утилізація” тощо; надає класифікацію відходів – на сьогодні визначено 16 категорій відходів, перелік яких періодично переглядається та оновлюється.

Закон України “Про відходи” зі змінами від 23.05.2017 р. враховує законодавчий погляд Директиви 75/442/EWG та визначає правові, організаційні та економічні засади діяльності, пов’язаної із запобіганням або зменшенням обсягів утворення відходів, їх збиранням, перевезенням, зберіганням, сортуванням, обробленням, утилізацією та видаленням, знешкодженням та захороненням, а також з відверненням негативного впливу відходів на навколишнє природне середовище та здоров’я людини на території України [3].

Основними завданнями законодавства України згідно Закону України “Про відходи” є:

- а) визначення основних принципів державної політики у сфері поводження з відходами;
- б) правове регулювання відносин щодо діяльності у сфері поводження з відходами;
- в) визначення основних умов, вимог і правил щодо екологічно безпечного поводження з відходами, а також системи заходів, пов’язаних з організаційно-економічним стимулюванням ресурсозбереження;
- г) забезпечення мінімального утворення відходів, розширення їх використання у господарській діяльності, запобігання шкідливому впливу відходів на навколишнє природне середовище та здоров’я людини [3].

Досить сумна статистика – на території України 160 тис. га вкриті промисловими відходами (мова йде про 36 млрд тон твердих відходів). Очевидно, що це серйозний виклик екології; страшний спадок, який отримують наші нащадки [4].

Тверді промислові відходи накопичуються підприємствами різних галузей промисловості (рис. 6.25), що створюють в процесі своєї діяльності техногенні родовища (рис. 6.26).

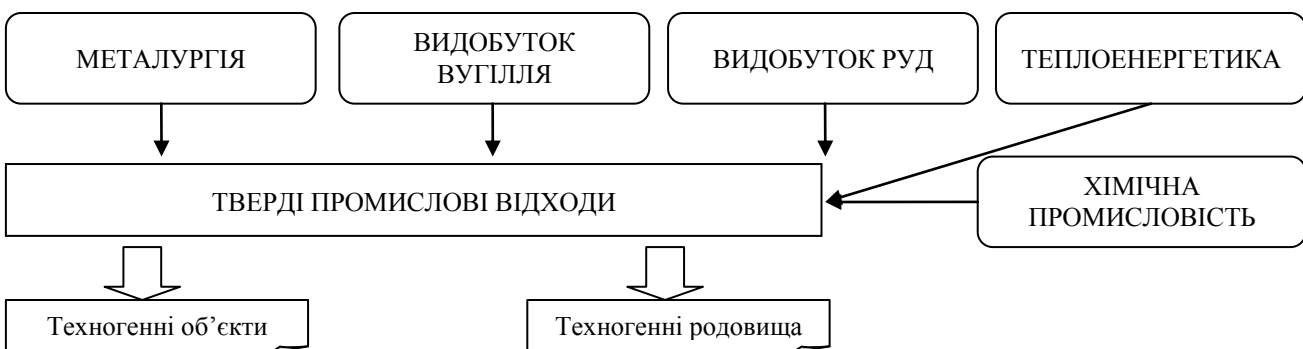


Рис. 6.25. Схема накопичення твердих промислових відходів

Джерело: [1]

Сучасні існуючі умови навколишнього середовища і екології на Україні є досить критичними, особливо в зв’язку з діяльністю підприємств, в тому числі і гірничодобувної галузі. Інтенсивне використання надр із значними обсягами вилучення корисних копалин і порід з їх наступною переробкою не могло не відобразитись на екологічному стані довкілля України [10].

Значна земельна територія виключена з сільськогосподарської уваги та забруднена промисловими відходами, які щорічно збільшуються.

Ця проблема особливо гостро стосується й гірничо-збагачувальних підприємств Криворізького басейну, відходи, яких утворюються в процесі видобутку та збагачення руди. Але через відсутність прогресивних технологій виробництва більш ніж 150 млн. т. відходів щорічно поповнює відвали та

борти шламосховищ. Вже нині на площі 13 тис. га Криворізького басейну накопичено 9,1 млрд. т промислових відходів. Критичні обсяги їх утворення та нагромадження зумовили загострення економічних, екологічних, соціальних проблем та вимагають термінових заходів. Наведені дані свідчать про невідкладність переходу до нових стратегій управління гірничо-збагачувальними підприємствами, орієнтованих на комплексну переробку мінеральних ресурсів [7].

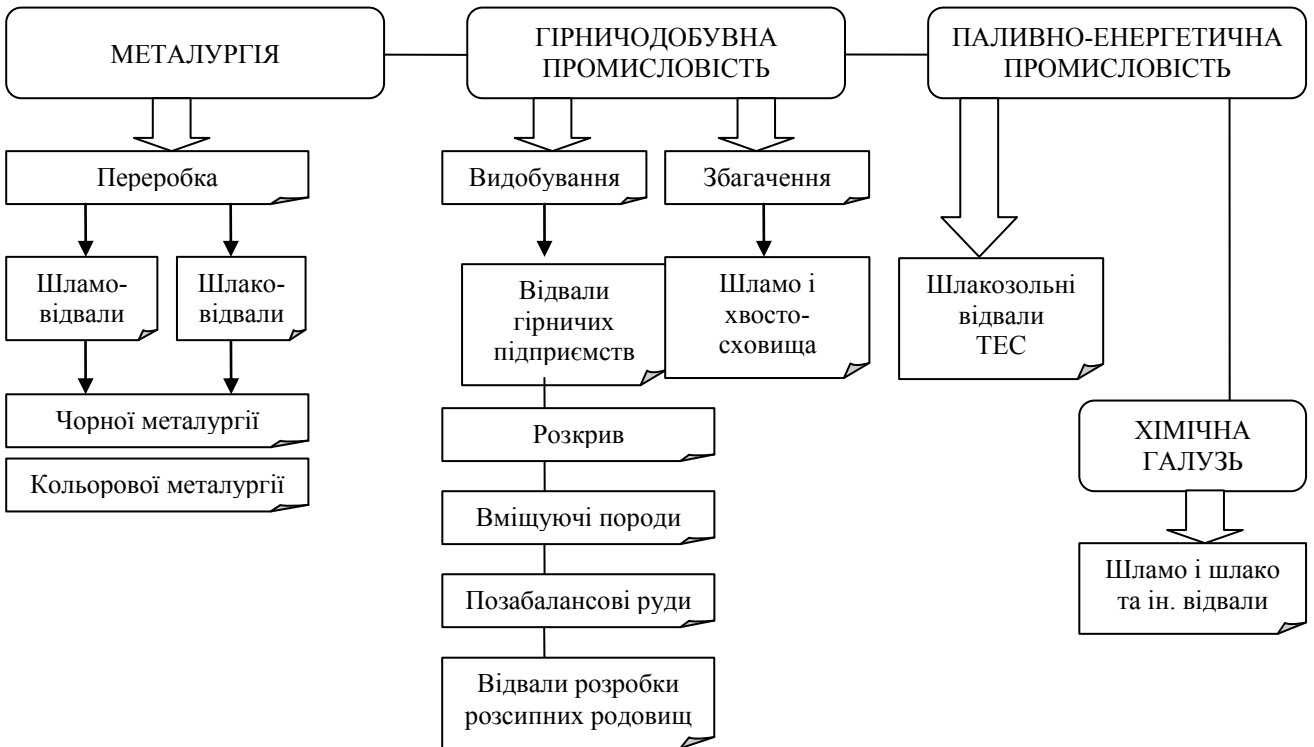


Рис. 6.26. Техногенні родовища

Джерело: [1]

Найбільші обсяги відходів накопичуються у видобувній (вугільні терикони, відвали порожньої породи) і переробній промисловості (особливо в металургії і хімічній промисловості) [4].

Під час видобутку вугілля щорічно на поверхню з надр піднімають близько 1 млрд м<sup>3</sup> порожньої породи. З неї утворюють терикони, які займають тисячі гектарів родючої землі. Терикони “палають”, утворюють хмари диму [9].

З видобутком донецького вугілля кількість відходів порожньої породи щорічно зростає на 10 % через роботу на більшій глибині з менш потужними вугільними пластами. Ці відходи можна використовувати для заповнення порожнеч вироблених шахт, при виробництві будівельного матеріалу, мінеральних добрив, у дорожньому будівництві [9].

Для дорожнього будівництва придатні 70 % пустих порід, для виробництва цементу – 24 %, щебеню – 30 %, кераміки – 16 %, силікатної цегли – 10 %. Проте, поки використовується не більше 5 % подібних відходів [9].

У табл. 6.32 представлено інформацію щодо потенціалу використання відходів порожньої породи. Питома вага фактичного використання відходів на сьогодні мізерно низька та наділяє сумними думками про марно втрачені та невикористані резерви.

Таблиця 6.32

**Потенціал використання відходів порожньої породи**

Напрямок використання	Потенціал використання, %
Дорожнє будівництво	70
Виготовлення цементу	24
Виготовлення щебня	30
Виготовлення кераміки	16
Виготовлення силікатної цегли	10
Фактичне використання відходів на сьогодні	5

Джерело: [1]

Зниження собівартості продукції також може відбуватися за рахунок зменшення втрат під час видобутку і збагачення руд. Наприклад, при розробці Криворізького залізрудного родовища втрачається 8 – 8,5 млн т сировини в надрах. А зменшення втрат руди на 1 % забезпечує приріст запасів більш ніж на 500 тис. т за рік без витрат на розвідку, проходку гірничих виробок, придбання устаткування [1].

Великі резерви зниження втрат металу можуть бути досягнуті при збагаченні руди. На шести гірничо-збагачувальних комбінатах України щорічно з відходами губиться до 25 % заліза. У Нікопольському марганцевому басейні у відходах збагачення втрати марганцю складають 27 % [1].

Значні обсяги газоподібних і твердих відходів утворюються в теплоенергетиці. Так, при згорянні вугілля, утворюється окис кальцію – погашене вапно, що може застосовуватися для вапнування кислих (підзолистих) ґрунтів [9].

За одну добу роботи ТЕС спилує до 10 тис. т вугілля, після чого запишається 1 тис. т шлаку і золи. Так, на Прибалтійській ДРЕС в Естонії, що працює на горючих сланцях, щорічно утворюється більш ніж три мільйони тонн золи, 55 % якої використовується вразі в сільському господарстві для вапнування ґрунтів. Ця зола багата окисами кальцію, магнію, калію і фосфору. При внесенні таких добрив у ґрунт середня врожайність зернових культур в Естонії підвищується у 2 рази. Проте, незважаючи на явну економічну вигідність такого застосування даних відходів, Прибалтійська ДРЕС зазнає збитків від утилізації золи, оскільки встановлена ціна на добрива не компенсує витрат на їхнє виробництво [9].

Вугільна зола може бути використана для виробництва будівельних матеріалів. Засоби утилізації золи широко відомі, але лише 10 % її в даний час використовується для виробництва будівельних матеріалів. З золи можуть бути отримані панелі з підвищеною звукоізоляцією, водостійкі бетони, шлакозольні в'язкі матеріали, керамічна плитка, стінові шлакоблоки [9].

У розвинутих країнах використовується 20 – 100 % відходів від спалення вугілля в якості сировини в будівництві при виробництві цементу ще з 1950 року (в США цей показник сягає 20 %, у Великій Британії – 60 %, у Франції – 72 %, у Фінляндії – 84 %), а в Данії та Нідерландах взагалі до 100 %. Переробки золи ж в Україні знаходиться в межах лише 10 – 14 % (рис. 6.27) [8].

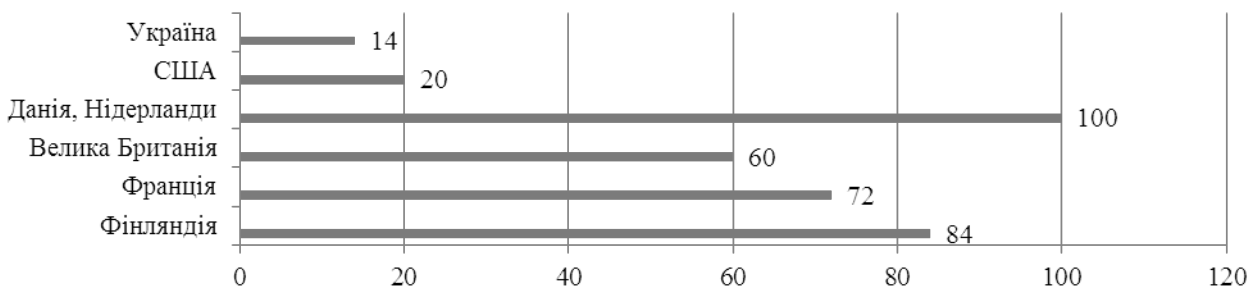


Рис. 6.27. Переробка вугільної золи

Джерело: [1]

На ТЕС України утворюється 15 – 16 млн т золошлакових відходів, а загальна кількість золошлаків у відходах складає не менше 220 млн т. З них може бути отриманий: пористий жужільний заповнювач легких бетонів, золошлакогіпсобетон, керамзитозолобетон, пінозолобетон, золосілікатна цегла, золошлакові стінові блоки, фасадна керамічна плитка, цементи різноманітних марок [5].

Останнім часом в Україні використовується зола Бурштинської ДРЕС при виробництві цементу і шиферу на Здолбуновському цементно-шиферному комбінаті [5].

Безпосередньо відходи чорної металургії утворюються вже на самій стадії видобутку руди і близько 70 % пустих порід і відходів збагачення можна використовувати для виробництва будівельних матеріалів.

О. А. Підлісна та В. М. Філософ на основі Державних класифікаторов надають наступну інформацію про вміст корисних елементів у промислових шлаках (табл. 6.33).

Таблиця 6.33

**Вміст корисних елементів у промислових шлаках**

Вид шлаку	Перелік корисних елементів у промислових шлаках	Вихід шлаку	Ступінь утилізації
Шлак сталеплавильний	Марганець, залізо, окис кальцію, смарагди, сапфіри, топази, аметисти, димчатий і чорний агат, рідкісні метали і золоти	50	70
Шлак феросплавний	Залізо, карбонати, кремній	50	70
Шлак виробництву чавуну	Ванадій, марганець, ніобій, кремній, магній, кальцій, алюміній, залізо	50	80
Шлак передільний	Нікель, мідь, титан, ванадій	90	70
Шлак відвальний	Оксиди металів	90	10

Джерело: [6]

Підприємства чорної металургії, в тому числі і Криворізького залізрудного комбінату, видобуваючи залізну руду, супутні матеріали, відправляють у відвали. У шламосховищах Криворізьких ГЗК, що переробляють залізісті кварцити, вже накопичено 500 млн. т відходів збагачення і щорічно їх стає на 70 – 80 млн. т більше. Окрім втрати корисних елементів при виробництві продукції чорної металургії постає наступна глобальна проблема – збільшення земельних площ під відвали для зберігання пустих порід. Це одна із екологічних проблем людства, яка потребує негайного рішення.

При виплавленні однієї тонни сталі утворюється 650 – 700 кг твердих відходів – шлаків, шламів, відходів металу. Утилізація доменних шлаків досягає 80 %. У цементній промисловості використовуються гранульовані шлаки при виробництві шлакопортландцементів та сульфатостійкого бетону з використанням шламової суспензії методом барботування. Це досить інноваційна технологія криворізьких дослідників, яка надає можливість досить енергоефективно готувати бетон з зменшеними витратами та з заданими властивостями. Бетонні та злізобетонні конструкції з таких шлаколужних бетонів відрізняються довговічністю, тривкістю і стійкістю до корозії. Спеціалістами Кривбасу у цій галузі накопичений великий досвід у використанні відходів гірничо-збагачувальних комбінатів в якості великих та малих наповнювачів при виробництві шлаколужних бетонів. Відходи ГЗК у 6 – 10 разів дешевші застосовуємого для виготовлення бетонів річкового піску, який привозять у Кривбас з Дніпропетровська. Окрім того, для виготовлення шлаколужних бетонів не потрібен цемент. Відмінністю шлаколужних бетонів є те, що в них в якості наповнювачей можна використовувати некондиційні матеріали і різні відходи промисловості. Для виробництва шлаколужного бетону використовують лужний, домений, гранульований шлак, відходи ГЗК, рідке скло, щебінь з природнього каменю. Особливо важливими напрямками зниження витрат на виробництво будівельної продукції є використання промислових відходів та застосування хімічних домішок – прискорювачів твердіння бетону, що дозволяє значно скоротити витрати цементу. Із розплавлених шлаків методом термічної обробки одержують жужільну пемзу – термозит, який використовуються в будівництві як замітник природного щебеню. Широко застосовується у чорній металургії технологія виробництва вогнетривкого бетону, згідно якій відходи вогнетривких матеріалів служать наповнювачем вогнетривних бетонів – вони дробляться, а потім змішуються з високими марками цементу.

Шлаки кольорової металургії використовуються не більш ніж на 15 %, що пов'язано з наявністю у відходах багаточисельних рідкісних і кольорових металів. Після вилучення зі шлаків корисних компонентів, їх використовують в будівельній індустрії при виробництві будівельних матеріалів та конструкцій – для залізобетонних конструкцій, глиняної, силікатної або жужільної цегли, для підсіпки основ залізничної полотнини або автодоріг, мінеральної вати; а також в сільському господарстві – з них отримують добрива. Останнім часом виготовляють новий будівельний матеріал – шлакоситал, отриманий із суміші шлаку, піску, глини й інших компонентів. Шлакоситал застосовується при виробництві підлог як теплоізоляційного матеріалу, як антикорозійний матеріал для будівельних конструкцій, для декоративного облицювання. Його порівняно невисока собі вартість, поліпшенні якості і можливість збільшення довговічності конструкцій; надають цьому матеріалу перспективи його застосування [8].

Доменний шлак широко застосовується для масового виробництва різноманітного асортименту будівельних деталей (блоків, плит і т. д.). Головними товарними виробами для реалізації з твердих промислових відходів металургії є: різноманітні види гранульованого шлаку – 54 %; щебінь – 35 %; жужільна пемза – 6 %; обернений продукт для металургії – 4 % [8].

Великий відсоток відходів простежується і при агломераційному виробництві. Супутні головні товарні вироби з твердих промислових відходів металургії представлено на рис. 6.28.

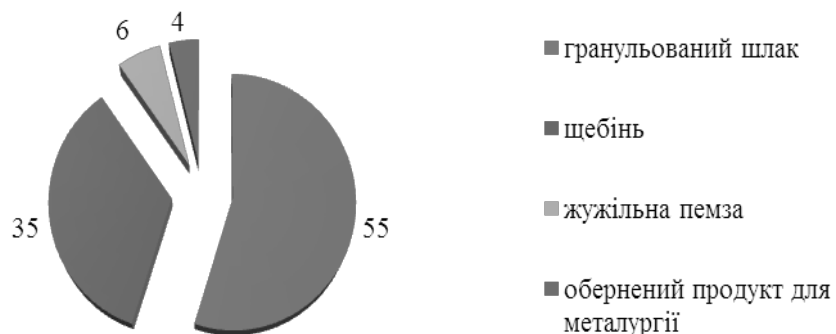


Рис. 6.28. Супутні головні товарні вироби з твердих промислових відходів металургії

Джерело: [1]

Проблеми сучасного ринкового середовища, постійна динаміка до збільшення вартості енергоносіїв та дослідження вчених свідчать про необхідність переходу до нових стратегій управління гірничо-збагачувальними підприємствами, які будуть орієнтовані на застосування технології комплексної переробки відходів виробництва підприємств всіх галузей народного господарства – ресурсозбереження, що надасть підприємствам різних форм власності зміцнити свої конкурентні переваги як на вітчизняному, так і світовому ринках.

Отже, використання вторинних ресурсів, впровадження інноваційних енергозберігаючих та ресурсозберігаючих технологій підвищує ефективність суспільного виробництва та енергетичну незалежність як суб'єкта господарювання, так і регіону та держави в цілому; сприяє забезпеченню виробництва дешевою сировиною, визволенню значної земельної території, поліпшенню екології оточуючого середовища, підвищує конкурентоздатність вітчизняних виробників на світовому ринку.

Розв'язання цих проблем потрібно здійснювати за підтримкою на державному рівні шляхом впровадження ефективного законодавчого регулювання, яке повинно враховувати як національні особливості так і застосовувати позитивний досвід відповідного законодавства провідних країн світу, та системи державного мотивування.

### **6.11. Енергоефективність та екологізація логістичної діяльності**

© Савченко Л. В.

*к.т.н., доцент, Національний авіаційний університет, м. Київ, Україна*

Живучи у світі 2018 р., важко не замислюватись про енергоефективність та екологію. Ці два терміни можна часто зустріти поруч, адже енергоефективність передбачає кінець-кінцем зменшення споживання земних ресурсів, що зазвичай позитивно відображається на екологічних показниках, принаймні зменшуючи забруднення природного навколишнього середовища.

18 грудня 2017 р. було введено в дію Закон України “Про оцінку впливу на довкілля”, прийнятий Верховною Радою 23 травня 2017 р. Цей Закон передбачений Угодою про асоціацію з ЄС та впроваджує нову європейську модель процедури оцінки впливу на довкілля замість існуючої екологічної експертизи. Законом також визначено переліки видів діяльності та об'єктів, які підлягають оцінці.

Згідно Закону, вплив на довкілля (далі – вплив) – це будь-які наслідки планованої діяльності для довкілля, в тому числі наслідки для безпечності життєдіяльності людей та їхнього здоров'я, флори, фауни, біорізноманіття, ґрунту, повітря, води, клімату, ландшафту, природних територій та об'єктів, історичних пам'яток та інших матеріальних об'єктів чи для сукупності цих факторів, а також наслідки для об'єктів культурної спадщини чи соціально-економічних умов, які є результатом зміни цих факторів [1].

Як бачимо, зовсім нещодавно на законодавчому рівні чітко прописано основні аспекти оцінки впливу на навколишнє природне середовище. Для порівняння, наразі існує лише один досить “локальний” закон щодо енергоефективності – “Про енергетичну ефективність будівель” (прийнятий 22.06.2017 р.). Поруч з тим в Україні ще в 1994 р. прийнятий Закон “Про енергозбереження”, останні зміни до якого було внесено у червні 2017 р. Згідно нього, основними принципами державної політики у сфері енергозбереження, зокрема, є:

– створення енергозберігаючої структури матеріального виробництва на основі комплексного вирішення питань економії та енергозбереження з урахуванням екологічних вимог, широкого впровадження новітніх енергозберігаючих технологій;

– популяризація економічних, екологічних та соціальних переваг енергозбереження, підвищення громадського освітнього рівня у цій сфері [2].

Як бачимо, і в законодавчій сфері екологія та енергоефективність, енергозбереження йдуть поруч, що обґрунтовує поєднання цих двох аспектів у даній науковій роботі.

Для врахування екологічних та енергетичних аспектів діяльності логістичної системи підприємства варто зосередитися на логістичних процесах. Саме процеси є продуцентами негативного впливу на НПС та використання енергії. Отже, стандартний поділ логістичної системи на елементи – транспорт, склад, збут, виробництво, постачання, запаси, інформація – є не зовсім придатним, оскільки відображає елементи логістичної системи з точки зору менеджменту, а не екології та енергозбереження.

Вважаємо, що для оцінки енергоефективності та шкідливого впливу на НПС логістичну систему доцільно розбивати на такі елементи:

1. Процеси логістики постачання.
2. Процеси виробничої логістики.
3. Процеси транспортної логістики.
4. Процеси складської логістики.
5. Процеси інформаційної логістики.

Щодо логістики збуту або дистрибуторської логістики, варто зазначити, що енергоефективність та екологічність збутових процесів, по суті відображаються транспортними, складськими та іншими процесами. Відповідно, не вважаємо за потрібне вичленовувати окремий елемент “процеси збутової логістики”, а врахувати енергоефективність та екологічність дистрибуційної логістики підприємства, у частинах транспортних, складських та інформаційних процесів.

Розглянемо детально кожен з п'яти груп процесів.

1. Процеси логістики постачання. Логістика постачання займається вхідними матеріальними потоками логістичної системи. Відповідно, головним у логістиці постачання є пошук постачальників, робота з ними, контроль, організація та управління вхідними матеріальними потоками. Для зменшення шкідливого впливу на НПС та збільшення енергоефективності процесів логістики постачання слід звернути увагу на такий аспект постачальницької діяльності як вибір постачальника. Так, з екологічної точки зору, перевагу слід віддати постачальнику, який:

- виготовляє екологічно чисту та енергетично ошадливу продукцію;
- керується екологічними та енергозберігаючими принципами у процесах виробництва;
- користується екологічно чистою сировиною;
- мінімально забруднює НПС;
- має безвідходне або маловідходне виробництво тощо.

До процесів логістики постачання відноситься також частина транспортних процесів, які будуть розглядатися у елементі “процеси транспортної логістики”.

Варто зазначити, що наразі існують декілька видів маркувань, що відображають екологічність та енергоефективність продукції.

Екологічне маркування, екологічна декларація – твердження, в якому зазначено про екологічні аспекти певного товару чи послуг. Затверджені Законом України від 21 грудня 2010 р. № 2818-VI “Основні засади (стратегія) державної екологічної політики на період до 2020 року” визначають екологічне маркування одним з інструментів для реалізації національної екологічної політики.

Принципи та методи екологічного маркування I типу викладені у стандарті ISO 14024.

Екологічні критерії мають охоплювати основні стадії життєвого циклу продукції і встановлювати більш жорсткі ніж державні норми безпеки, вимоги до показників поліпшених екологічних характеристик продукції, таких як:

- обмеження чи заборону на застосування інгредієнтів або препаратів за факторами ризику для довкілля та здоров'я людини;
- рівень забруднення натуральної сировини агрохімікатами, важкими металами, радіонуклідами (наприклад, для харчових продуктів, тканин, косметичних засобів);
- енергоємність виробництва та енергоефективність споживання (для електроприладів);
- показники екологічної результативності виробництва;
- споживання водних ресурсів;
- обсяги утворених відходів виробництва та споживання;
- придатність пакування та продукції промислової групи до повторного перероблення тощо.

II тип екологічного маркування відноситься до інформативного декларування у вигляді формулювань чи позначок, що вказують на певну екологічну характеристику продукції.

Як бачимо, екологічне маркування I типу містить у собі, зокрема, фактор енергоефективності. Проте, існує маркування, створене саме для позначення класу енергоефективності, що було введене Директивою Європейського Союзу у 2010 р. для більшості побутових приладів, промислового обладнання, лампочок, а також для автомобілів [8]. Енергоефективність позначається класами від А до G. При цьому клас А позначає найвищу енергоефективність, а G – найнижчу.

Отже, головним постулатом у логістиці постачання з орієнтацію на енергоефективність та екологізацію, має стати використання такої сировини та співпраця з такими постачальниками, які можна назвати екологічно дружніми та енергоощадливими. У цьому контексті інформація щодо такого правила та здобутки у пошуці екологічно чистого та енергетично ефективного вхідного потоку має доноситися до споживачів готової продукції. Адже саме вони мають відреагувати на це збільшенням зацікавленості, а отже, і збільшеннями прибутку компанії.

2. Процеси виробничої логістики. Процеси, що супроводжують виробничу логістику, зазвичай пов'язані з операційною діяльністю підприємства. Тут слід брати до уваги аспекти, що стосуються виробничих будівель, виробничого обладнання, обсягів відходів та системи їх збору, переробки та подальшого використання тощо. Для збільшення енергетичної ефективності та екологізації процесів виробництва можна порекомендувати наступні принципи:

- при побудові (або виборі) виробничих приміщень обирати матеріали (або приміщення з таких матеріалів), що мінімально шкодять НПС;

– проектувати виробничі процеси, щоб максимально використовувати денне світло, природне тепло взимку та прохолоду влітку;

– при плануванні енергетичного забезпечення процесів виробництва максимально використовувати альтернативні джерела енергії. У якості енергії бажано використовувати таку, що є побічним продуктом виробничих процесів. У якості джерела енергії можна використовувати відходи власного виробництва, а також відходи інших підприємств та населення;

– станки, механізми, обладнання бажано обирати з екологічно чистих матеріалів. Віддавати перевагу тим, що використовують менше енергії, бажано – відновлюваної;

– технологічні процеси організовувати, щоб максимально знизити переміщення та зберігання матеріалів на шляху до готової продукції. У цьому допоможе концепція Lean production [9].

Для аналізу слабких місць з точки зору енергоефективності у процесах виробничої логістики може бути використаний енергетичний аудит.

Енергетичний аудит дає можливість виявити системи, місця та установки з надмірним або неефективним використанням енергетичних ресурсів та запропонувати технічні та організаційні заходи для виправлення ситуації: це може бути як заміна або модернізація існуючих установок, так і зміна режимів роботи, або навіть перехід на використання інших енергоносіїв. Типові системи, які мають значний потенціал по підвищенню ефективності використання енергії:

- генерація тепла, його транспортування та регулювання;
- тепло- та холодоізоляція;
- системи стислого повітря (генерація, передача, використання);
- системи кондиціонування повітря та промислового холоду;
- сушка продукції;
- промислові та технологічні електродвигуни (помпи, вентилятори);
- системи освітлення;
- промислові процеси в різних галузях.

В Україні наразі збільшується кількість компаній, що можуть допомогти зменшити витрати на енергоносії. Заходів, що вони пропонують, досить багато – від повної реорганізації зони виробництва до встановлення додаткового обладнання, здатного зменшити обсяг спожитої енергії. Окрім безпосередніх пристроїв, що зменшують споживання електрики, газу, води тощо, ринок пропонує й інформаційні продукти, що здатні контролювати мікроклімат у виробничих приміщеннях та вчасно корегувати його з метою економії ресурсів та/або збільшення продуктивності праці. Зазвичай інвестиції у таке обладнання або інформаційні системи є досить коштовним, проте економічний ефект від їх впровадження при розумному супроводі забезпечує швидкий термін окупності.

3. Процеси транспортної логістики. Варто зазначити, що процеси транспортування є ключовими в логістиці, бо забезпечують просторове переміщення сировини, незавершеного виробництва, готової продукції по всьому логістичному ланцюгу. При цьому на сучасному етапі розвитку логістики логістичні ланцюги все частіше розширюють до логістичних циклів. Логістика таких циклів (замкнених матеріальних потоків) розглядає не тільки матеріальні потоки від джерела сировини, через виробництво, до кінцевого споживача, але й матеріальні потоки, що йдуть у зворотному напрямку. Природа цих зворотних потоків є досить різноманітною:

– цілком справні, нові товари, що повертають у межах 14 днів з дня їх покупки за різних причин (Згідно із ст. 9 Закону України “Про захист прав споживачів” можна обміняти непродовольчий товар належної якості на аналогічний товар або повернути товар, який не має дефектів, протягом 14 днів після його придбання, не рахуючи дня купівлі);

- не справні товари, термін дії гарантійних зобов’язань яких ще не стік;
- не справні товари, які повертають на ремонт;
- товари, що закінчили свій термін служби і повертають на утилізацію чи переробку.

Усі ці товари рухаються у бік, зворотний руху прямого матеріального потоку. Зазвичай і ці, зворотні, обернені або реверсивні, потоки вимагають транспортування на рівні з прямими.

У контексті енергоефективності та екологізації транспортної логістики можна запропонувати керуватися такими принципами:

- використовувати транспортні засоби, що мають найсучасніші показники екологічності (відповідають найвищим стандартам Євро);
- за можливості віддавати перевагу електротранспорту;
- при плануванні маршрутів доставки обирати ті, що дозволяють зменшити холості та нульові пробіги транспортних засобів;
- у процесі вибору постачальників та основних місць збуту віддавати за можливості перевагу тим, що знаходяться ближче до місця виробництва;
- зменшити загальну кількість перевезень, перевозячи сировину та товари великими партіями;



- за можливості користуватися більш екологічними видами транспорту (залізничний, водний);
- максимально використовувати вантажопідйомність та вантажомісткість рухомого складу;
- при існуванні власного парку рухомого складу звертати увагу на процеси мийки, проходження технічного огляду та ремонту (правильна утилізація стічних вод, мастил, обтиральних матеріалів, запчастин, акумуляторних батарей тощо).

Однією з тенденцій транспортної логістики є поступове збільшення долі електротранспорту. В Україні за останні роки відбулися певні позитивні зрушення у цьому напрямку.

Так, з 1 січня 2018-го до 1 січня 2019 р., згідно з Законопроекту № 6776-д, ввозити електромобілі в Україну можна безкоштовно, тобто сплативши лише вартість самого авто (вживаного або нового) в салоні за кордоном. Для порівняння, ПДВ на будь-який інший автомобіль становить 20 % від його вартості і додатково 109 євро. Крім того, Міністерство інфраструктури України має намір ініціювати податкову знижку та скасування виплати до Пенсійного фонду при реєстрації електромобілів, в результаті чого машини можуть подешевшати ще на 23 %. Варто зазначити, що такі пільги поширюються тільки на повністю електричні двигуни: гібриди оподатковуються, як і авто з двигунами внутрішнього згоряння [6].

Ринок електромобілів в Україні вже протягом декількох років демонструє позитивну динаміку, залишаючись одним з найбільш активно розвиваються у світі. У 2017 р. Україна була в четвірці країн по переходу з двигунів внутрішнього згоряння на електрокари. Цього року темп зберігається. Уже близько 6 тисяч було придбано в 2017 р. За січень 2018 р. було придбано ще близько 800 електрокарів. До 2035 р. кожен четвертий автомобіль в Україні буде електричним, – прогнозує Центр Разумкова [4].

Основний лозунг при використанні електромобілів: “Їдемо повільно і не дуже далеко, але дешево і екологічно”. Головним аргументом в покупці електрокара для більшості українців є можливість заощадити на паливі.

Проте, разом з беззаперечними екологічними та економічними перевагами електромобілів у нашій країні є і проблеми. Найбільша з них – недостатньо розвинена мережа заправних станцій. У цьому сенсі флагманом може стати Львів, який першим в Україні прийняв власну концепцію електромобільності. Заступник міського голови Львова з питань розвитку Андрій Москаленко проінформував щодо планів до 2020 р. скоротити на 20 % викиди шкідливих речовин у повітря, сприяти тому, щоб до 2025 р. близько 20 % транспорту були на електротязі, а для цього через кожних 15 хвилин пересування по місту розмістити електрозарядні станції [3].

Є в Україні й інноваційні ідеї в сегменті зарядок для електрокарів: одним із прикладів подібного є зарядна мережу Go To-U – завжди безкоштовно для власника електромобіля, бронювання зарядки через додатки.

Наостанок слід додати, що переорієнтація на електромобілі – це глобальний тренд. Країни Європи, Китай і Індія заявили, що відмовляться від продажу машин з двигуном внутрішнього згоряння через 10 – 25 років.

4. Процеси складської логістики. Складські процеси пов’язані з використанням будівель. Отже, для даного аспекту слід керуватися усіма принципами п. 2 (процеси виробничої логістики). Щодо транспортних процесів на складі слід звертати увагу на п. 3 (процеси транспортної логістики).

Особливістю саме складської логістики зазвичай є значне використання пакувальних матеріалів та тари.

Санітарно-гігієнічне законодавство приділяє особливу увагу полімерним і комбінованим матеріалам, з яких виготовляють тару та упаковку, оскільки вони за природою і технологією можуть мати у своєму складі низькомолекулярні включення, мономері, стабілізатори, пластифікатори, модифікатори, пігменти, наповнювачі тощо. Ці речовини можуть мігрувати при певних умовах у продукт, змінювати його якість і погіршувати стан здоров’я людей.

Основною законодавчо-нормативною базою для цього є закон України “Про забезпечення санітарного та епідеміологічного благополуччя населення”, “Про якість і безпеку харчових продуктів і продовольчої сировини”, Гігієнічні нормативи ГН 2.3.972-00 “Гранично допустимі кількості хімічних речовин, які виділяються із полімерних матеріалів, які контактують з харчовими продуктами” (з доданим до них списком усіх діючих на даний момент документів санітарно-гігієнічного характеру), “Перелік матеріалів, виробів і обладнання, дозволених МОЗ для контакту з харчовими продуктами і середовищами”.

Принципами зменшення негативного навантаження на НПС тут можуть бути:

- максимально використовувати багатообігову тару;
- мінімізувати загальну кількість пакування, тари;
- використовувати ту тару та упаковку, які вимагають менше сировини для свого виробництва, процес виробництва яких вимагає менше енергії та менше забруднює НПС, дозволяє легко пустити тару та упаковку у повторне виробництво, не шкодить НПС у разі потрапляння сміття у НПС.

У кожній розвиненій країні діє система з переробки й утилізації використаної тари та пакувальних матеріалів, у ряді країн прийняті й успішно діють спеціальні національні програми: у Бельгії (Fost Plus), у Данії (Action Plan for West and Recycling 1993 – 1997), Німеччині (Grun Punkt), Австрії (ARA), Франції (Eco- Embballages), Іспанії (Punto Eko-Emfilges), Польщі (BIS System) тощо. Лідерами з переробки та вторинного використання відходів упаковки є Німеччина (переробляється більше 70 % відходів), Нідерланди (65 %), Австрія (60 %).

Варто зазначити, що екологічність тари не означає лише її виробництво з органічної або біорозкладаної сировини. Паперові пакети хоч і не забруднюють НПС після їх утилізації, проте вимагають застосування деревини, а отже, вирубки зелених насаджень, що є зовсім не дружнім до НПС кроком. Отже, слід шукати “золоту середину” між процесами видобутку сировини, процесами виробництва, процесами використання та процесами утилізації. Весь цей ланцюг для тари та упаковки має бути мінімально шкідливим для НПС, підхід до аналізу має бути комплексним.

5. Процеси інформаційної логістики. Однією з підтримуючих підсистем логістики підприємства є інформаційна логістика. Вона виконує функцію організації контролю та управління інформаційними потоками, що супроводжують рух матеріального потоку.

Зважаючи на надзвичайні темпи розвитку інформаційних технологій, саме інформаційні потоки та апаратне їх забезпечення займають усе більш суттєвіше місце у логістичній системі підприємства. Принципами побудови більш дружньої до НПС та енергоефективної інформаційної логістики можуть бути:

- мінімізація паперового документообігу по усьому логістичному ланцюгу або циклу;
- використання енергетично ошадливих програмних засобів (офісної, комп’ютерної техніки);
- максимальне використання хмарних технологій;
- підвищення точності інформаційного потоку для усунення помилок, що призводять до збільшення забруднення НПС іншими логістичними процесами;
- мінімізувати кількість офісної та комп’ютерної техніки завдяки користуванню мережами та більш потужним обладнанням.

Екологічні інформаційні технології означають створення ІТ-інфраструктури, що використовує менше ресурсів, а найважливіше – енергії. Це відноситься не тільки до енергії, що витрачається комп’ютерами, але тієї, що потрібна для їх охолодження і управління ними з корпоративної мережі. Комп’ютери користувачів в офісі і сервери в центрі даних витрачають величезну кількість енергії.

Одним з комплексним заходів, спрямованих на оцінку екологічності підприємства, є екологічний аудит.

Вперше екологічний аудит (еко-аудит) був використаний американськими фірмами у кінці 70-х років минулого століття. На початок 90-х рр. у світі, за оцінками експертів, еко-аудит було проведено щонайменше на 2000 підприємств, спершу – на великих, а згодом дедалі частіше і на середніх.

У 1993 р. Європейською Радою прийнята Постанова № 1836/93 “Про добровільну участь промислових підприємств у системі екологічного менеджменту і екологічної перевірки підприємств Спільноти” (скорочено англ. – EMAS від “Environmental Management and Audit Scheme”). Ця Постанова включає обидві сфери: організацію системи екологічного менеджменту і його внутрішню та зовнішню перевірку.

В Україні настанови щодо здійснення екологічного аудиту викладені у державних стандартах серії ДСТУ ISO 14000, затверджених і введених у дію наказом Держкомстату ще у 1997 р. Так, загальні принципи проведення еко-аудиту викладені у державному стандарті ДСТУ ISO 14010-97, а процедури аудиту і порядок проведення аудиту систем управління навколишнім середовищем визначає ДСТУ ISO 14011-97. Кваліфікаційні вимоги до еко-аудиторів в Україні регламентуються ДСТУ ISO 14010-97.

Напрями і аспекти діяльності підприємства у сфері охорони довкілля, які можуть здійснюватися у рамках еко-аудиту підприємства, подані у табл. 6.34.

Обов’язковий екологічний аудит в Україні проводиться у випадках:

- банкрутства підприємства;
- приватизації;
- передачі в концесію об’єктів державної і комунальної власності;
- передачі об’єктів державної або комунальної власності в довгострокову оренду;
- створення спільних підприємств на основі об’єктів державної і комунальної власності;
- екологічного страхування об’єктів;
- у інших випадках, передбачених Законом України “Про екологічний аудит”.

Причинами, що спонукають підприємства до проведення добровільного екологічного аудиту, є:

- визначення відповідності діяльності підприємства вимогам екологічного законодавства;
- перевірка обґрунтованості розмірів екологічних платежів або штрафних санкцій екологічної інспекції;
- уникнення наднормативних екологічних платежів і штрафних санкцій;

- зниження витрат на поводження з відходами, на водопостачання, електро-, тепло-, газопостачання;
- визначення наявності резервів сировини і енергоресурсів на підприємстві;
- зниження ризику виникнення надзвичайних ситуацій, пов'язаних із забрудненням навколишнього середовища;
- підвищення інвестиційної привабливості підприємства;
- формування екологічної стратегії і політики підприємства;
- підвищення конкурентоспроможності підприємства і збільшення лояльності споживачів за рахунок виробництва продукції, що відповідає всім екологічним і санітарно-гігієнічним вимогам;
- вихід на міжнародний рівень і укріплення позиції компанії серед зарубіжних партнерів;
- сертифікація системи екологічного менеджменту підприємства на відповідність стандарту ISO 14001.

Таблиця 6.34

**Напрями й аспекти екологічної діяльності підприємства при екологічному аудиті**

Напрями діяльності	Аспекти діяльності
Планування заходів з охорони довкілля і раціонального використання природних ресурсів	Прийняття екологічної політики підприємства
Інженерне забезпечення робіт з охорони довкілля і раціонального використання природних ресурсів	Визначення екологічних вимог до продукції та технологічних процесів
Контроль і регулювання якості технологічних процесів відповідно до вимог охорони довкілля і раціонального використання природних ресурсів	Зниження норм витрат води, енергії. Зменшення викидів у атмосферу, забруднення водоймищ, ґрунтів, зменшення кількості утворюваних відходів, впливу шумів, виділення тепла, запаху, пилу, вібрації, випромінювання та інших фізичних чинників
Контроль забруднення довкілля і роботи очисних споруд	Забезпечення відповідності методів і засобів вимірювань установленим вимогам
Контроль сировини, матеріалів, продукції, тари, відходів на відповідність вимогам охорони довкілля	Визначення методик і процедур вимірювань. Забезпечення відповідності методів і засобів вимірювань установленим вимогам
Утилізація, складування, розміщення, захоронення і знищення відходів. Менеджмент відходів	Поводження з відходами
Використання природних ресурсів	Раціональне використання землі, води, енергії та інших ресурсів
Матеріально-технічне забезпечення заходів з охорони довкілля	Забезпечення виконання заходів засобами охорони довкілля
Технічне обслуговування і ремонт засобів охорони довкілля	Облік, перевірка та обслуговування засобів охорони довкілля
Підвищення кваліфікації персоналу у сфері охорони довкілля	Навчання персоналу сучасним методам і засобам охорони довкілля
Організація менеджменту довкілля на підприємстві	Розробка системи процедур з менеджменту довкілля
Аналіз еколого-економічної ефективності діяльності підприємства у сфері охорони довкілля і раціонального використання природних ресурсів	Оцінка ефективності природоохоронних заходів. Платежі, штрафи, пов'язані з охороною довкілля і використанням природних ресурсів. Економічні санкції. Відшкодування шкоди за забруднення довкілля
Екологічний облік й екологічна звітність	Використання результатів екологічної статистики
Безпека персоналу	Облік і поводження з небезпечними речовинами. Санітарна й екологічна безпека персоналу
Фінансове забезпечення робіт з охорони довкілля і раціонального використання природних ресурсів	Визначення кошторисної вартості капітальних та інших витрат, пов'язаних з охороною довкілля і використанням природних ресурсів
Укладення контрактів (угод)	Укладення контрактів (угод), пов'язаних з охороною довкілля і природокористуванням
Зв'язки з питань охорони довкілля і використання природних ресурсів	Ліцензійне природокористування. Екологічне страхування, сертифікація, атестація і ліцензування еко-аудиторів

Джерело: [5]

Отже, кожна з описаних груп процесів вимагає додаткового ґрунтовного аналізу з пошуком конкретних можливостей для збільшення енергоефективності та екологізації. Кожне підприємство проходить у цьому свій шлях, і це є неминучим. Адже кожне покоління має задовольняти свої потреби так, щоб не ставити під загрозу здатність майбутніх поколінь задовольняти свої потреби [4].

**6.12. Інноваційні технології ресурсозбереження в технологіях очищення забрудненого водного середовища**

© Петрушка І. М.

*д.т.н., професор, завідувач кафедри екологічної безпеки та природоохоронної діяльності,  
Національний університет "Львівська політехніка", м. Львів, Україна*

© Крет І. З.

*к.е.н., доцент, доцент кафедри економіки підприємства та інвестицій,  
Національний університет "Львівська політехніка", м. Львів, Україна*

© Петрушка К. І.

*к.т.н., асистент кафедри екології та збалансованого природокористування,  
Національний університет "Львівська політехніка", м. Львів, Україна*

Практично всі поверхневі та значна частина підземних водних ресурсів, особливо в районах розташування потужних промислових комплексів, відчувають антропогенний вплив, що підтверджується щорічним зростанням об'ємів скиду умовно та нормативно очищених стічних вод. У 2014 р. в поверхневі водні об'єкти скинуто 8697 млн. м<sup>3</sup> стічних вод, а частка забруднених стічних вод у загальному водовідведенні у 2014 р. (36,7 %) в порівнянні з 2013 р. зросла майже на 6 %.

Накопичення токсичних складових стічних вод створює суттєву техногенну небезпеку водноресурсному потенціалу держави. Повною мірою це стосується і стоків, забруднених речовинами, які відносяться до 2-го-4-го класу небезпеки такі як органічні барвники, органічні розчинники та радіонукліди, які є одними із найнебезпечніших для гідросфери.

Зменшити концентрацію органічних речовин у стічних водах до гранично-допустимих, можливо адсорбцією, зворотнім осмосом, ультрафільтрацією, електродіалізом, іонним обміном [1]. З стічних вод легко адсорбуються активованим вугіллям акрилонітрин, анілін, бензин, хлорбензол, циклогексан, крезол, фенол та інші органічні речовини [2; 3].

Розроблені вітчизняними та зарубіжними вченими високоефективні методи очищення на основі процесу адсорбції в основному спрямовані на нейтралізацію одного з забрудників з стічних вод. Крім того їх широкомасштабне впровадження вимагає часткової, або повної заміни очисного обладнання.

Поряд із синтетичними адсорбентами, які традиційно застосовуються у цих процесах (активоване вугілля, силікагелі, штучні цеоліти) в останній час проводиться ряд досліджень та практичних впроваджень як адсорбентів природних дисперсних мінералів [4; 5; 6].

Разом з тим постійний інтерес науковців до теоретичних та експериментальних досліджень процесу адсорбції з розчинів на міжфазній межі "тверде тіло – рідина" обумовлений важливістю цього явища для широкого ряду хімічних, біологічних та геохімічних процесів.

На основі наведеного можна стверджувати, що дослідження скеровані на розширення спектру використання природних та модифікованих сорбентів для адсорбційного очищення стічних вод від забрудників 2 – 4 класу небезпеки, є актуальними і дозволяють мінімізувати екологічну небезпеку від забруднення гідросфери.

Забезпечення економічного розвитку вітчизняних підприємств потребує постійного пошуку резервів зростання їх виробничо-збутових можливостей. Одним з потужних резервів такого зростання є реалізація заходів, спрямованих на економію ресурсів у розрахунку на одиницю самого вихідного продукту, яка виготовляється за допомогою цих ресурсів.

Мінерально-сировинна база України є достатньо вагомою у світовому вимірі, що підтверджує Закон України "Про затвердження загальнодержавної програми розвитку мінерально-сировинної бази України на період до 2030 року". Згідно з техніко-економічними розрахунками, приведеними в програмі, потреба в мінерально-сировинних ресурсах базується на освоєнні новітніх технологій.

До такої мінеральної сировини відносяться і природні сорбенти. Проте їх використання в природоохоронних технологіях (наприкладі бентонітових мінералів) є мізерно мале і складає 4 % в порівнянні з іншими галузями наприклад ливарне виробництво – 52 %, харчова промисловість – 6 %, сільське господарство – 18 %.

Доцільність та перспективність використання природних сорбентів доведена працями таких вчених школи академіка Д. Р. Овчаренка (Ю. І. Тарасевич, В. В. Манк, Л. В. Мельник).

Завдяки пористій структурі та високорозвиненій поверхні такі мінеральні сорбенти як бентоніт, палигорськіт, глауконіт проявляють високі адсорбційні, каталітичні та іонообмінні властивості і здатні селективно вилучати з водних розчинів речовини різних класів, в тому числі і радіоактивні ізотопи.

Їхня не токсичність робить можливим використання цих реагентів для потреб різних галузей промисловості. Економічна доцільність використання цих реагентів в різних технологічних процесах зумовлюється існуванням ефективних методів регулювання їхньої геометричної структури та хімічної природи поверхні, наявністю в Україні великих промислових родовищ і невисокою вартістю мінералів.

Одним з ефективних методів вилучення забруднення надзвичайно широкої природи практично до будь-якої остаточної концентрації, незалежно від їх хімічної стійкості є сорбційний метод – масообмінним процесом якого можна регулювати та прогнозувати.

Саме тому він і вибраний нами як перспективний для очищення стоків від забрудників. Найбільш перспективно застосовувати для очищення природні дисперсні сорбенти, які є порівняно недорогими, а тому не потребують регенерації, широко розповсюдженими в надрах України, ефективні у використанні.

Проте на відміну від ряду авторів [7], ми вважаємо, що із відомих дисперсних сорбентів як потенційні сорбенти слід розглядати глинисті мінерали, які здатні під впливом гідратації збільшувати розміри адсорбційних ємностей, що створює сприятливі умови для сорбції великих за розміром молекул синтетичних барвників (на відміну від природних цеолітів, які мають жорсткий каркас). Як такі потенційні сорбенти розглядались бентоніти, глауконіти та палигорськіти.

Зокрема, ряд авторів [8], розробили метод оцінювання економічного ефекту від впровадження на промислових підприємствах ресурсозберігаючих видів техніки та технологій. Джерела забруднення стічних вод синтетичними барвниками як на підприємствах, де ці барвники виробляються, так і на підприємствах, де їх використовують в технологічних процесах, можна умовно розділити на 3 групи:

- стічні води, які утворюються на стадіях фільтрування (виділення барвника у технологіях його отримання та відділення пофарбованої субстанції у технологіях фарбування;
- стічні води, які утворюються від промивання технологічного обладнання;
- поверхневі води, забруднення барвником яких створюється внаслідок промивання забруднених поверхонь.

Перші із цих стічних вод є найбільш забрудненими і потребують найбільш глибокого очищення. Стічні води від промивання технологічного обладнання є менш концентровані за забрудники.

Що ж до поверхневих вод, то концентрація в них барвника в великій мірі залежить від культури виробництва та повноти реалізованих заходів щодо захисту навколишнього середовища від шкідливих факторів виробництва.

Аналізуючи дані моніторингу щодо розміщення підприємств – виробників та підприємств-споживачів барвників можна відмітити дві тенденції відносно їх локалізації:

- концентрування підприємств-виробників в прив'язці до запасів води та районів розвинутої хімічної промисловості;
- концентрування підприємств-споживачів до промислово розвинутих районів (рис. 6.29).



Рис. 6.29. Моніторинг підприємств – виробників та споживачів органічних барвників в Україні  
Джерело: узагальнено авторами

Першу тенденцію можна пояснити значною потребою у технічній воді в виробництві барвників, а також розміщенням підприємств з їх виробництва у місцях наявності сировини, якою часто служать продукти хімічної та нафтохімічної промисловості.

Щодо другої тенденції, то слід зауважити, що виробництва барвників, як важливого але малотоннажного продукту для підприємств – споживачів, не служать концентраторами розміщення цих підприємств, підприємства-споживачі барвників більше тяжіють до місць збуту готової продукції, хоча важливою умовою залишається для основної кількості цих підприємств барвників також і забезпечення технічною водою.

Слід зауважити, що в основному небезпека забруднення поверхневих вод України стічними водами, що містять синтетичні барвники, відноситься до басейну ріки Дніпро.

Менша частина підприємств, які можуть виступати потенційними забрудниками поверхневих вод (і які зосереджені в Західній Україні), відносяться до басейну Дністра.

В цілому ж кількість потенційних забруднювачів поверхневих вод стоками, що містять барвники досить значна, що підкреслює необхідність розроблення ефективних та недорогих в експлуатації технологій, які б дозволили очищати стоки від барвників та забезпечити екологічну безпеку України.

Такими технологіями можуть бути адсорбційні технології із використанням як адсорбентів природних дисперсних сорбентів.

Питомі об'єми стічних вод в різноманітних технологічних операціях фарбувально-обробних виробництв суттєво коливаються (коефіцієнт часової нерівномірності знаходиться в межах 1,2 – 3) і складають від 50 м<sup>3</sup>/т до 480 м<sup>3</sup>/т. Ці стічні води є складними гетерогенними системами, які містять суміші в різному фазово-дисперсному стані. Вони мають специфічний колір, ІК досягає  $1 : 13 \cdot 10^3$  і більше для відпрацьованих зафарбованих розчинів.

До специфічної категорії забрудників стічних вод відносяться органічні розчинники, які в основному є безбарвними. Моніторинг забруднення вод проводиться чотирьом розчинниками: гексаном, етилацетатом, ізопропанолом та циклопентанолом. В процесі проведення моніторингу ми виходили з того, що утворення стоків, забруднених розчинниками, можливе в 2 місцях: місці виготовлення цих розчинників та місці їх використання. Тому були проаналізовані як технології виготовлення розчинників, так і технології їх застосування.

Гексанові розчинники використовуються в хімічній промисловості для виробництва поліелефінів, синтетичних каучуків; у легкій промисловості в процесі первинної обробки вовни; в мікробіологічній промисловості в процесі екстрактивного очищення білково-вітамінного концентрату; в харчовій промисловості для екстракцій харчових жирів, для екстракцій ефірних олій з ефірооливної сировини та інших технічних потреб.

Етилацетат отримують із ацетальдегіду в присутності каталітичної кількості алколюгату алюмінію та етерифікацією оцтової кислоти етанолом. В промисловості етерифікацію ведуть в присутності сірчаної кислоти в колонах із зрошенням потрійною азеотропною сумішшю: етилацетат 83,2 %, вода 7,8 %, етанол 9 %. Застосовують етилацетат як розчинник для нітроцелюлози, целюлоїда, алкідних, вінілових, полівінілацетатних смол тощо. В суміші з спиртом – для розчинення ацетилцелюлози, як розчинник для лаків а також як желатинуюча речовина у виробництві вибухових речовин. Він також знаходить застосування для екстракції оцтової кислоти із водних розчинів, його використовують в харчовій промисловості для виготовлення фруктових есенцій, в хімічній промисловості – для отримання ацетоцтового ефіру, адетилацетону та інших сполук.

Ізопропанол використовують в хімічній та лакофарбовій промисловості як реагент та розчинник, для отримання ізопропіонового альдегіду, як антифриз та в складі суміші для синтезу антифризу. В останній час ізопропанол широко застосовують в складі рідин для обмивання скла.

Циклопентанол використовується для виготовлення капролактаму, як розчинник в лако-фарбовій та хімічній промисловості.

Для візуалізації даних щодо розміщення на Україні виробників та споживачів досліджуваних розчинників (а отже і локалізації стоків, забруднених цими розчинниками) використовувалась база даних “Незалежні виробники товарів та послуг” 2011 р. Дані візуалізації сформованої бази даних виробників та споживачів розчинників на карті України наведені на рис. 6.30.

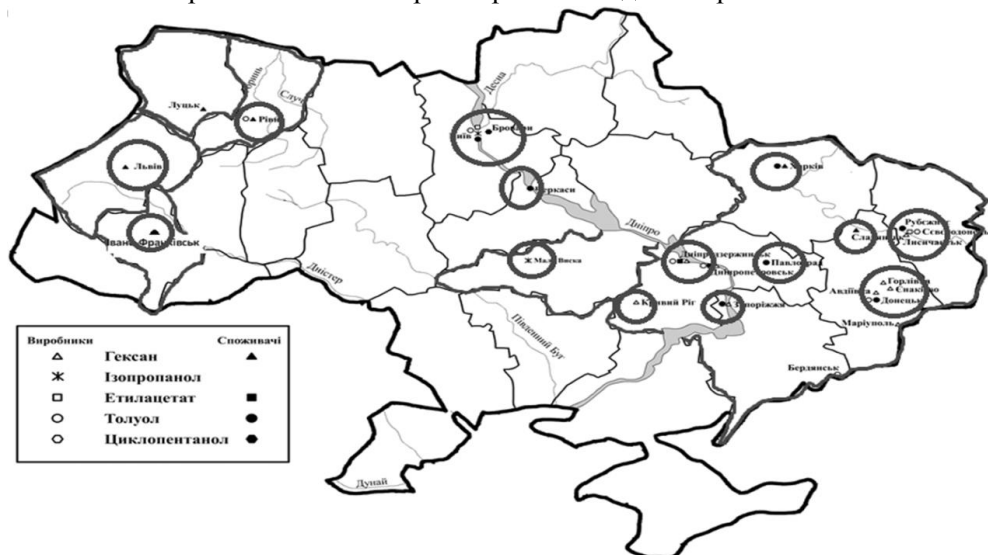


Рис. 6.30. Моніторинг підприємств – виробників та споживачів розчинників в Україні  
Джерело: узагальнено авторами

Аналіз даних, представлених на рис. 6.30, свідчить, що виробники та споживачі досліджуваних органічних розчинників нерівномірно розміщені на території України. Відповідно нерівномірним в границях України є забруднення цими продуктами стічних вод в промислових масштабах. Практично вільною від забруднення органічними розчинниками є центральна частина України, південна її частина та Крим. Відносно мало промислових забруднювачів розміщено в Західній Україні, причому всі вони є монозабруднювачами.

Що відноситься до басейну Дніпра, то там знаходиться ряд підприємств, стоки яких забруднені органічними розчинниками, часто в композиції 2 чи 3 розчинників. Багато підприємств, стоки яких містять органічні розчинники, розміщені в індустріально розвинутому Донбасі. І в цьому районі стоки часто містять декілька органічних розчинників – забруднювачів. Якщо аналізувати випадки, коли стоки забруднені одним забруднювачем, то видно, що в основному цим забруднювачем є гексан. Результати проведеного моніторингу стоків, забруднених органічними забруднювачами, свідчать про актуальність досліджень щодо розроблення та впровадження технологій очищення стоків від одного або декількох органічних розчинників – забруднювачів для забезпечення екологічної безпеки України.

Радіоактивні матеріали та джерела іонізуючого випромінювання широко використовуються в ядерно-енергетичній індустрії, медицині, багатьох галузях промисловості та наукових дослідженнях, відповідно в менших чи більших масштабах утворюються рідкі радіоактивні відходи (РРВ) у кожній із цих областей. РРВ можуть утворюватися в результаті порушення правил поводження з радіоактивними матеріалами, розгерметизації контейнерів з джерелами іонізуючого випромінювання, в процесі проведення дезактиваційних робіт та зняття з експлуатації ядерних установок.

Радіоактивні водні розчини складають більше 99 % всіх утворених РРВ, тому далі як РРВ будуть розглядатися саме гомогенні водні розчини неорганічних речовин, забруднені радіоактивними речовинами.

За об'ємною активністю РРВ класифікують:

- 1) низькоактивні РРВ – активність менше  $3,7 \cdot 10^5$  Бк/л;
- 2) середньоактивні РРВ – активність  $3,7 \cdot 10^5 - 3,7 \cdot 10^7$  Бк/л Бк/л;
- 3) високоактивні РРВ – активність більше  $3,7 \cdot 10^{10}$  Бк/л Бк/л.

Обсяги утворення низько- та середньо активних відходів становлять 95 – 99 % від загального об'єму утворюваних РРВ. До високоактивних відходів в основному відносять відпрацьоване ядерне паливо (ВЯП), або продукти його переробки. В Україні поводження з високоактивними відходами обмежується охолодженням ВЯП, направленням його на переробку в Російську Федерацію або зберіганням у сухих сховищах ВЯП.

Потенційна радіоекологічна небезпека у регіонах України формується за рахунок діяльності таких підприємств:

- 1) зона відчуження Чорнобильської атомної електростанції (ЧАЕС);
- 2) атомні електростанції;
- 3) державне об'єднання “Радон” (УкрДО “Радон”);
- 4) урановидобувна та переробна промисловість;
- 5) навчальні та науково-дослідні установи з дослідницькими реакторами та нейтронними пришвидшувачами;
- 6) медичні та промислові підприємства, що використовують у своїй діяльності джерела іонізуючого випромінювання.

Синтез неорганічних сорбентів пов'язаний зі складними та ресурсозатратними операціями, вимагає дорогого устаткування та реагентів, що суттєво впливає на їх вартість та унеможливає їх застосування для розв'язання проблем, пов'язаних з переробкою великих об'ємів РРВ.

На основі проведених моніторингових та експериментальних досліджень пропонується класифікація, в основі якої закладені шляхи використання природних та модифікованих природних сорбентів в залежності від виду та концентрації забрудника в стічних водах (рис. 6.31).



Рис. 6.31. Класифікація використання природних та модифікованих сорбентів в технологіях очищення стічних вод від забрудників 2 – 4-го класу небезпеки

Джерело: [8; 9; 10]

Розглянемо ситуацію коли порівнюється ефективність діяльності двох підприємств однієї галузі в однаковий часовий проміжок.

Отже, у випадку справедливості припущення про незалежність зміни ефективності використання певного виду ресурсів підприємства від зміни застосовуваних обсягів цих ресурсів показник такої ефективності є індикатором пошуку резервів збільшення розміру фінансових результатів діяльності підприємств (рис. 6.32).

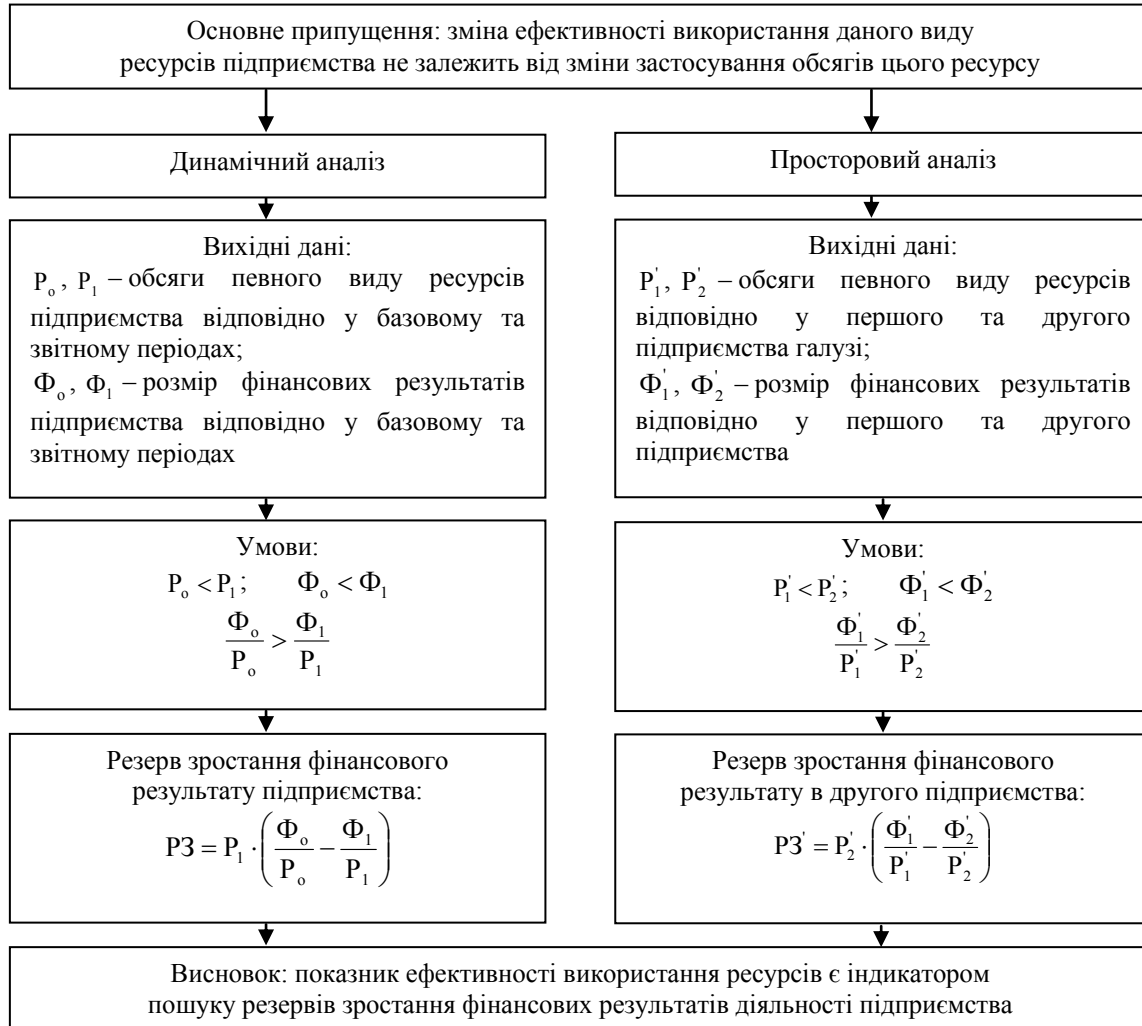


Рис. 6.32. Структурно-логічна схема обґрунтування доцільності застосування показника ефективності використання певного виду ресурсів підприємства

*Джерело: авторська розробка*

Слід відзначити, що сформульоване припущення на практиці виконується не завжди та, принаймні, не у повному обсязі. Одна з причин цього полягає у тому, що із збільшенням розмірів застосовуваних підприємством ресурсів досить часто зростають питомі витрати, пов'язані з їх експлуатацією, так як поступове залучення кожної додаткової одиниці ресурсів може обходитися підприємству усе дорожче. У кожному конкретному випадку потрібно ретельно виявляти межі застосування даного припущення.

При здійсненні оцінювання впливу певних чинників на доцільність та ефективність впровадження на промислових підприємствах ресурсозберігаючих технологій потрібно враховувати низку передумов, а саме:

– наявність у даній галузі підприємств з різним рівнем технічної оснащеності, що закономірно призводить до різних значень показників собівартості та питомої капіталомісткості аналогічного вихідного продукту за різними підприємствами. За таких умов необхідно володіти інформацією про матрицю питомих витрат ресурсів на виробництво одиниці вихідного продукту за усіма видами цих ресурсів в та усіма підприємствами галузі. Очевидно, що підприємства з більшими питомими витратами певного виду ресурсів будуть сильніше реагувати на дію чинників, що зумовлюють необхідність впровадження технологій, спрямованих на економію даного виду ресурсу;



– наявність у даній галузі достатньо конкурентного ринку, зокрема достатньої кількості виробників певного вихідного продукту. У випадку, якщо ця умова не виконується (наприклад, існує лише один виробник-монополіст), то дія чинників, що сприяють впровадженню ресурсозберігаючих технологій, може бути суттєво загальмованою (табл. 6.35).

Таблиця 6.35

**Групування чинників, що впливають на ефективність впровадження на підприємствах ресурсозберігаючих технологій**

Назви класифікаційних ознак групування чинників	Назви груп чинників
1. За видами ресурсів, питомі витрати яких на виробництво вихідного продукту будуть скорочені	Чинники, що зумовлюють економію питомих витрат: матеріальних ресурсів, технічних ресурсів, трудових ресурсів та інвестиційних ресурсів
2. За характером причин виникнення чинників	Чинники, які зумовлені: покращенням системи управління та організації виробництва на підприємстві, відносним покращенням техніко-технологічних параметрів виробництва вихідного продукту за певними основними засобами порівняно із діючими, зміною кон'юнктури ринків вихідного продукту та засобів виробництва і удосконаленням державної підтримки заходів у ресурсозбереженні
3. За місцем виникнення чинників	Чинники, які виникають у процесі діяльності: даного підприємства (наприклад поступове зношення його основних засобів, виокремлення програм ресурсозбереження як пріоритетних у діяльності підприємства тощо), розробників та виробників елементів техніко-технологічної бази даного підприємства (наприклад, поява ресурсозберігаючих видів обладнання), постачальників сировини для даного підприємства (наприклад, збільшення цін на окремі види ресурсів), споживачів продукції даного підприємства (наприклад, збільшення обсягів цієї діяльності та, відповідно попиту на вихідний продукт даного підприємства), функціонування ринків трудових та фінансових ресурсів і функціонування органів державної влади (наприклад, надання податкових пільг для підприємств, які впроваджують ресурсозберігаючі технології)
4. За впливом на рівень цін на продукцію підприємства	Чинники, які зумовлюють: зниження цін на вихідний продукт підприємства (позитивні для споживачів вихідного продукту чинники), збільшення цін на вихідний продукт (негативні для споживачів вихідних продуктів чинники)
5. За впливом на ефективність діяльності даного підприємства	Чинники, які: підвищують ефективність діяльності даного підприємства – позитивні чинники для підприємства (наприклад, зростання попиту на його вихідний продукт) і знижують ефективність діяльності даного підприємства – негативні чинники для підприємства (наприклад, прискорення морального старіння його основних засобів)
6. За наслідками впливу на оновлення основних засобів підприємства	Чинники, які: зумовлюють впровадження ресурсозберігаючих технологій лише для виробництва додаткового обсягу вихідного продукту без припинення та заміни існуючих техніки та технології (зокрема, низький рівень конкуренції в галузі, невисокий ступінь морального старіння основних засобів на даному підприємстві тощо) і призводять до необхідності передчасної заміни вже функціонуючих елементів техніко-технологічної бази підприємства (наприклад, високий рівень конкуренції в галузі, значний ступінь технічної оснащеності виробництва і праці у конкурентів порівняно із даним підприємством, раптові зміни в технології виробництва вихідного продукту в даній галузі тощо)

*Джерело: авторська розробка*

– наявність у даній галузі механізмів швидкого встановлення рівноважної ціни на вихідний продукт.

Проведений аналіз показав, що у випадку високого рівня конкуренції на ринку, найбільш адекватним методом ціноутворення на вихідний продукт є метод замикаючих питомих приведених витрат, тобто ціна одиниці вихідного продукту приймається на рівні питомих приведених витрат (ППВ) у того виробника вихідного продукту, для якого вони є найменшими:

$$ППВ_i = (C_i + K_i \cdot E_n) / O_i = c_i + k_i \cdot E_n \rightarrow \min, \quad (6.9)$$

де ППВ<sub>i</sub> – питомі приведені витрати за і-тою технологією виготовлення певного вихідного продукту, грн;

C<sub>i</sub> – собівартість річного випуску вихідного продукту за і-тою технологією, грн;

K<sub>i</sub> – потрібні інвестиції у впровадження і-тої технології, грн;

$E_n$  – нормальна річна прибутковість інвестицій у частках одиниці (така їх мінімальна прибутковість, за якої інвестори погоджуються інвестувати свої кошти);

$O_i$  – річний натуральний обсяг виробництва вихідного продукту за  $i$ -тою технологією;

$c_i$  – собівартість одиниці вихідного продукту за  $i$ -тою технологією ( $c_i = C_i/O_i$ ), грн;

$k_i$  – питома капіталомісткість вихідного продукту за  $i$ -тою технологією ( $k_i = K_i/O_i$ ), грн.

Слід відзначити, що добуток  $K_i \cdot E$  у формулі питомих приведених витрат – це фактично нормальний річний прибуток за  $i$ -тою технологією. Якщо його поділити на  $O_i$ , то отримуємо нормальний прибуток на одиницю вихідного продукту –  $k_i \cdot E$ .

Якщо додати до нього  $c_i$ , то отримуємо рівноважну ціну одиниці вихідного продукту, за якої попит на неї дорівнює пропозиції і прибутковість інвестицій у її виробництво становить  $E$ .

Отже, питомі приведені витрати – це рівноважна ціна одиниці вихідного продукту і та технологія, за якої ця ціна є найменшою, є найбільш конкурентоспроможною, так як за фіксованої функції попиту вона забезпечує максимальний сукупний обсяг виробництва вихідного продукту.

Враховуючи вищевикладене, можна запропонувати проводити діагностику прогресивності ресурсного забезпечення (ТРЗ) за окремим видом продукції з використанням такого критеріального показника:

$$ТРЗ = O/(C + K \cdot E_n), \quad (6.10)$$

де  $O$  – річний натуральний обсяг виробництва певного виду продукції;

$C$  – собівартість річного випуску продукції;

$K$  – інвестиції, вкладені у виробництво даного виду продукції, яку виготовляє підприємство.

Отже, згідно запропонованого підходу діагностика прогресивності ресурсного забезпечення за окремим видом продукції здійснюється за допомогою показника, що є оберненим до величини питомих приведених витрат на її виготовлення.

За таких умов послідовність процесу діагностування прогресивності ресурсного забезпечення діяльності підприємства за окремим видом продукції, що ним виготовляється, буде містити такі основні етапи:

1. Аналізування цінової складової ресурсного забезпечення підприємства та встановлення обґрунтованого рівня цін придбання та витрат на виробничі ресурси.

2. Аналізування організаційної складової ресурсного забезпечення підприємства та визначення переліку заходів щодо підвищення міри ефективності використання наявних на підприємстві обсягів виробничих ресурсів (скорочення втрат робочого часу робітників, більш повне використання обладнання, пришвидшення оборотності оборотних фондів тощо).

3. Аналізування складу та структури витрат підприємства та визначення можливостей зниження величини собівартості даного виду продукції, зокрема за рахунок скорочення питомих накладних витрат.

4. Визначення множини можливих варіантів технології виробництва даного виду продукції та обрання найкращого з цих варіантів за критерієм мінімуму питомих приведених витрат (ППВ).

5. Використовуючи інформацію, отриману на попередніх етапах, встановлення мінімально можливої за даних умов величини ППВ на виготовлення даної продукції.

6. Ділення мінімально можливої величини ППВ на виготовлення даної продукції на фактичну їх величину. Результат такого ділення дозволяє оцінити рівень прогресивності ресурсного забезпечення діяльності підприємства у розрізі видів продукції, які воно виготовляє.

При цьому, чим ближче його значення наближається до одиниці, тим більш досконалою є технологічна складова ресурсного забезпечення процесу виготовлення даного виду продукції підприємства.

Стосовно усієї сукупності видів продукції, яку виготовляє підприємство, то діагностувати сукупний рівень прогресивності ресурсного забезпечення процесу їх виробництва ( $E_c$ ) можна за допомогою такої формули:

$$E_c = \frac{\sum_{l=1}^t \text{ППВ}_l \cdot O_l}{C_c + K_c \cdot E_n}, \quad (6.11)$$

де  $\text{ППВ}_l$  – питомі приведені витрати на виготовлення одиниці  $l$ -того виду продукції, яку виготовляє підприємство;

$t$  – кількість видів продукції, яку виготовляє підприємство;

$O_l$  – натуральні обсяги виготовлення  $l$ -того виду продукції;

$C_c$  – сукупна собівартість виробництва та реалізації усіх видів продукції підприємства;

$K_c$  – вартість активів підприємства, які приймають участь у виготовленні усіх видів його продукції.

Слід відзначити, що значення показника (6.11) не може перевищувати одиницю. При цьому, чим ближче воно наближається до одиниці, тим більш досконалим є ресурсне забезпечення діяльності даного підприємства.

Розглянемо більш детально технологічну складову ресурсного забезпечення діяльності підприємства. Слід, насамперед, відзначити, що у більшості галузей одночасно функціонують підприємства з різним рівнем технічного розвитку.

При цьому на більш технічно оснащених підприємствах питомі приведені витрати на виробництво продукції є меншими, ніж на підприємствах, що виробляють таку ж саму продукцію, але відстають у технічному розвитку.

Якщо ринок даної продукції є конкурентним, то ціна одиниці продукції повинна встановитися на рівні мінімальних питомих ППВ.

За таких умов прибутковість інвестицій у виготовлення продукції тих підприємств, у яких ППВ є більшими за мінімально можливий їх рівень, буде меншою за нормальну, тобто ці підприємства будуть недостатньо ефективними з точки зору вкладення у них інвестицій.

Очевидно, що технічно відсталі підприємства повинні прагнути до підвищення свого технічного рівня, зокрема, за рахунок заміни застарілої техніки та технологій.

Таке підвищення завжди потребує певного обсягу додаткових витрат. Розмір цих витрат залежить від рівня технологічності активів підприємства, який можна оцінити за допомогою такого коефіцієнта:

$$P_T = \frac{K_T}{K_3}, \quad (6.12)$$

де  $P_T$  – рівень технологічності активів підприємства, що приймають участь у виробництві даного виду продукції;

$K_T$  – вартість активів підприємства, які потребують заміни у випадку переходу підприємства на виробництво продукції за більш прогресивною технологією;

$K_3$  – загальний розмір активів підприємства, що приймають участь у виробництві даного виду продукції.

Чим вищим є рівень технологічності активів підприємства, тим важче йому перейти на виробництво продукції за більш прогресивною технологією. Разом з тим, частка вартості активів, що не включають у себе технологічну складову (до них, зокрема, відноситься пасивна частина основних виробничих фондів), на підприємствах промисловості може бути доволі значною.

Для побудови математичної моделі технологічних змін необхідно володіти інформацією про собівартість одиниці продукції та питому капіталомісткість за усіма альтернативними варіантами технологічних рішень, а також про розмір інвестиційних витрат у розрахунку на одиницю продукції, потрібних для того, щоб перейти від одного технологічного способу виробництва до іншого. Тоді такий перехід буде доцільним, якщо буде виконуватись нерівність:

$$\frac{c_i - c_j}{k_{ij}} \geq E_n, \quad (6.13)$$

де  $c_i, c_j$  – собівартість одиниці продукції відповідно за гіршою та кращою технологіями;

$k_{ij}$  – питомі інвестиційні витрати, пов'язані із переходом підприємства з  $i$ -тої на  $j$ -ту технологію виготовлення продукції.

Тоді у випадку, коли можливі декілька варіантів технологічних змін, кращим з них буде той, для якого набирає максимального значення такий критеріальний показник:

$$Z = c_i - c_j - k_{ij} \cdot E_n \rightarrow \max. \quad (6.14)$$

З виразу (6.14) випливає, що за інших рівних умов, зокрема незмінності технологічної складової у вартості активів підприємств, ефективність впровадження нової технології зростає із збільшенням економічних переваг кращої технології порівняно із гіршою.

Інакше кажучи, підприємство із достатньо високим рівнем технічного розвитку може бути незацікавленим у терміновій заміні своєї технології на більш досконалу, тоді як для технічно відсталого підприємства така заміна може бути надзвичайно ефективною.

При цьому, очевидно, технічно відстале підприємство може навіть випередити більш розвинуті за рівнем технічної оснащеності та ефективності ресурсного забезпечення.

Запропоновані міркування, які можуть бути екстрапольовано і на рівень національних економік, дають підстави для очікування технологічного прориву у низці секторів вітчизняної економіки.

Однак, з цією метою необхідно створити сприятливі умови для здійснення інвестиційно-інноваційної діяльності, за яких підприємствам стало б вигідно впроваджувати нові технології та реалізовувати інші заходи щодо удосконалення ресурсного забезпечення своєї виробничо-господарської діяльності.

За результатами моніторингу забрудників стічних вод запропонована класифікація використання природних та модифікованих сорбентів в технологіях очищення стічних вод від забрудників 2 – 4-го

класу небезпеки, яка дозволяє вибрати не тільки оптимальний вид сорбенту для нейтралізації забрудника, але і один з способів модифікування монтморилонітових порід з метою підвищення ступеня сорбції і відповідно зменшення вторинного забруднення навколишнього середовища відпрацьованими сорбентами.

Проведений авторами аналіз даної проблеми показав, що у випадку високого рівня конкуренції на ринку, найбільш адекватним методом ціноутворення на вихідний продукт є метод замикаючих питомих приведених витрат, тобто ціна одиниці вихідного продукту приймається на рівні питомих приведених витрат (ППВ) у того виробника вихідного продукту, для якого вони є найменшими.

Крім того, проведене дослідження показало, що ефективність заміни старої технології на нову зростає із збільшенням економічних переваг кращої технології порівняно із гіршою. Це об'єктивно надає менш технічно розвинутим підприємствам додаткові стимули до покращення рівня свого ресурсного забезпечення.

Подальші дослідження проблеми зменшити концентрацію органічних речовин у стічних водах до гранично-допустимих з метою впровадження на промислових підприємствах ресурсозберігаючих видів техніки та технологій потребують визначення можливостей більш повного урахування чинників невизначеності та ризику в процесі такого оцінювання.

### **6.13. Високоєфективні системи енергозабезпечення з когенераційно-теплонасосними установками: енергетичний, економічний та екологічний аспекти ефективності**

© Остапенко О. П.

*к.т.н., доцент, доцент кафедри теплоенергетики,  
Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, Україна*

В сучасних умовах для енергетики України характерна тенденція до заміщення традиційних паливно-енергетичних ресурсів та джерел електричної енергії нетрадиційними та відновлюваними джерелами енергії із залученням сучасних високоєфективних технологій. Застосування систем енергозабезпечення (СЕ) з комбінованими когенераційно-теплонасосними установками (КТНУ) можна розглядати як один із перспективних напрямків енерго- та ресурсозбереження в Україні. Ця технологія передбачає створення СЕ на основі комбінованих когенераційно-теплонасосних установок, забезпечує зменшення споживання традиційного палива до 45 % (у разі заміщення джерел теплової енергії еквівалентної потужності) та генерування електроенергії, нижчої за собівартістю до 40 % у порівнянні з мережевою. Впровадження СЕ з КТНУ сприятиме покращенню стану довкілля від зниження теплового забруднення та обсягів шкідливих викидів продуктів згорання.

Переважає більшість джерел енергозабезпечення на основі нетрадиційних та відновлюваних джерел енергії має низьку енергетичну ефективність енергоперетворень. СЕ з КТНУ здійснюють генерування теплової та електричної енергії з високою енергетичною ефективністю, забезпечують власні потреби в електричній енергії та потреби теплових споживачів. Застосування СЕ з КТНУ дозволить підвищити ефективність енерговикористання в системах енергозабезпечення.

Питанням дослідження ефективності СЕ з КТНУ присвячено низку наукових публікацій вітчизняних та закордонних авторів [1 – 23; 25]. Низка наших вітчизняних та закордонних наукових публікацій [2 – 7; 9 – 23] присвячена питанням підвищення енергоефективності СЕ з КТНУ, розробці методів оцінки ефективності СЕ з КТНУ, визначенню областей енергоефективної роботи СЕ з КТНУ, визначенню областей високої енергоефективності СЕ з КТНУ, розробці методів оцінки енерго-еколого-економічної ефективності СЕ з КТНУ, визначенню режимів роботи СЕ з КТНУ, при яких забезпечується висока енергетична та економічна ефективності та екологічна безпека СЕ з КТНУ. В низці наших досліджень [2 – 7; 12; 14; 16; 17; 20 – 23] зазначається, що СЕ з КТНУ забезпечують високу енергетичну і економічну ефективність та екологічну безпечність.

Метою нашого дослідження є узагальнення наукових результатів з наших досліджень [2 – 7; 9 – 23] з метою узагальнення рекомендацій щодо комплексного оцінювання енерго-еколого-економічної ефективності СЕ з КТНУ різних рівнів потужності та пікових джерел теплоти (ПДТ), що дозволить забезпечити обґрунтоване визначення високоенергоефективних, екологічно безпечних та економічно обґрунтованих режимів роботи СЕ з КТНУ з урахуванням комплексного впливу: рівнів потужності СЕ та КТНУ, змінних режимів роботи СЕ та її елементів (КТНУ та ПДТ), рівнів енергоефективності елементів СЕ, холодоагентів, джерел приводної енергії КТНУ та топологічного складу СЕ, з урахуванням втрат енергії при генеруванні, постачанні і перетворенні електричної енергії в КТНУ та СЕ. Схеми досліджуваних СЕ з КТНУ та ПДТ наведені в роботі [24]. Енергетичні та

економічні переваги застосування СЕ з КТНУ та ПДТ обґрунтовані в дослідженнях [2 – 7; 10 – 17; 20 – 23]. Методичні на наукові основи з оцінювання енергетичного, економічного та екологічного аспектів ефективності СЕ з КТНУ та ПДТ запропоновано в публікаціях [6; 9; 15 – 19; 23].

Енергоефективність СЕ з КТНУ та ПДТ в значній мірі залежить від оптимального розподілу теплового навантаження між елементами СЕ, що мають різні рівні енергоефективності: КТНУ та піковим джерелом теплоти (наприклад, водогрійним паливним котлом, електричним котлом, сонячними колекторами тощо) у складі СЕ, що зазначено у роботах [6; 12; 14; 15; 18; 21; 22]. Розподіл теплового навантаження між елементами в СЕ визначається часткою теплового навантаження КТНУ у складі СЕ  $\beta$  [6; 12; 14; 15; 18; 21; 22], яка може бути визначена як співвідношення теплових потужностей КТНУ (з урахуванням теплової потужності утилізаційного обладнання когенераційного приводу КТНУ з основи дослідження [11]) та СЕ  $\beta = Q_{КТНУ}/Q_{СЕ}$ .

У низці наших досліджень [6; 12; 14; 15; 18; 21; 22] здійснено аналіз енергоефективності системи “Джерело приводної енергії СЕ – СЕ – споживач теплоти від СЕ” для СЕ з парокompресійними КТНУ та піковими джерелами теплоти, було враховано втрати енергії при генеруванні електричної енергії та енергоперетвореннях в КТНУ, ПДТ та СЕ з метою визначення енергоефективних та економічно обґрунтованих режимів роботи СЕ з КТНУ.

У дослідженнях [6; 12; 14; 18] з метою комплексного оцінювання енергоефективності СЕ з КТНУ та ПДТ був запропонований та обґрунтований комплексний безрозмірний критерій енергетичної ефективності СЕ з КТНУ та ПДТ  $K_{СЕ}$ , який враховує безрозмірні критерії енергоефективності КТНУ  $K_{КТНУ}$  та ПДТ  $K_{ПДТ}$ , а також розподіл теплового навантаження між цими елементами СЕ за показником  $\beta$ . Згідно з [6; 12; 14; 15; 18], комплексний безрозмірний критерій енергоефективності СЕ з КТНУ та ПДТ має вид:

$$K_C = (1 - \beta) \cdot K_{ПДТ} + \beta \cdot K_{КТНУ}, \quad (6.15)$$

де  $K_{ПДТ}$  – безрозмірний критерій енергоефективності ПДТ у складі СЕ (водогрійного паливного котла (ПК), електрокотла (ЕК), сонячних колекторів тощо) з досліджень [6; 9; 12; 14; 15; 18],

$K_{КТНУ}$  – безрозмірний критерій енергоефективності комбінованих КТНУ у складі СЕ з досліджень [10; 11; 13].

Безрозмірний критерій енергоефективності парокompресійних КТНУ  $K_{КТНУ}$  був запропонований та обґрунтований в дослідженнях [10, 11, 13]. Він одержаний з рівняння енергетичного балансу для системи “Джерело приводної енергії КТНУ – КТНУ – споживач теплоти від КТНУ” з урахуванням впливу джерел приводної енергії парокompресійних КТНУ та з урахуванням втрат енергії при генеруванні, постачанні і перетворенні електричної енергії до КТНУ. З урахуванням такого підходу безрозмірний критерій енергоефективності комбінованих КТНУ, згідно з [10; 11; 13], має вид:

$$K_{КТНУ} = Q_{КТНУ}/Q_T = \eta_{ЕД} \cdot \eta_{ЕП} \cdot \phi^{КТНУ} \cdot \eta_{ТП}, \quad (6.16)$$

де  $Q_T$  – потужність, витрачена газопоршневим двигуном-генератором (ГПД) для вироблення електричної енергії для привода ТНУ;

$\eta_{ЕД}$  – ефективний ККД газопоршневого двигуна;

$\eta_{ЕП}$  – ККД електричного двигуна з урахуванням втрат енергії в блоці управління двигуном з [10; 13],  $\phi^{КТНУ}$  – дійсний коефіцієнт перетворення КТНУ з дослідження [11], який визначається як:  $\phi^{КТНУ} = (\phi_T + K_{ГПД}) \cdot \eta_T$ , де  $\phi_T$  – теоретичне значення коефіцієнта перетворення теплонасосної установки (ТНУ) без урахування потужності утилізаційного обладнання ГПД;  $K_{ГПД}$  – тепловий коефіцієнт ГПД, який дорівнює відношенню теплової утилізаційної потужності ГПД до його електричної потужності;  $\eta_{ТН}$  – енергетичний ККД ТНУ, який враховує всі втрати енергії в тепловому насосі з [10; 13];

$\eta_{ТП}$  – ККД теплового потоку, що враховує втрати енергії та робочого агента в трубопроводах та обладнанні ТНУ.

За умови  $K_{КТНУ} = 1$  КТНУ передає в СЕ таку ж теплову потужність, яка була витрачена для вироблення електроенергії для привода КТНУ. Зі збільшенням показника  $K_{КТНУ}$  зростає енергоефективність СЕ з КТНУ. Більш детально методичні основи з оцінювання енергоефективності СЕ з КТНУ та ПДТ викладено в дослідженні [11].

У наших роботах [6; 12; 14; 15] досліджено енергоефективність СЕ з парокompресійними КТНУ малої (до 1 МВт) та великої потужностей з когенераційним приводом від газопоршневого двигуна-генератора. Як пікові джерела теплоти в досліджуваних СЕ були передбачені електричні та паливні котли (паливні котельні для СЕ великих потужностей).

У дослідженні [21] визначені області енергоефективної роботи КТНУ різних рівнів потужностей, що були одержані на основі досліджень [11; 12] та визначені за безрозмірним критерієм енергоефективності КТНУ  $K_{КТНУ}$  в залежності від дійсних значень коефіцієнта перетворення ТНУ та

ефективного ККД ГПД. Енергоефективні режими роботи КТНУ забезпечується за умови  $K_{КТНУ} > 1$ . Одержані в [21] високі значення безрозмірного критерію енергоефективності для СЕ з КТНУ та ПДТ свідчать про високу енергоефективність таких комбінованих СЕ.

У роботах [9; 12; 14] зазначено, що комплексний безрозмірний критерій енергоефективності СЕ  $K_{СЕ}$  використовується для вибору найбільш ефективного пікового джерела теплоти для певного виду СЕ з КТНУ та енергоефективних режимів роботи зазначених СЕ за умови  $K_{СЕ} > 1$ .

У дослідженні [21] розроблено методичні основи та визначено області енергоефективної роботи СЕ з КТНУ і ПДТ, за умов оптимальних режимів роботи КТНУ; визначені енергоефективні режими роботи СЕ з КТНУ та ПДТ з урахуванням комплексного впливу змінних режимів роботи, джерел приводної енергії для парокомпресійних ТНУ різних рівнів потужності, з урахуванням втрат енергії при генеруванні, постачанні і перетворенні електричної енергії. Переваги запропонованого підходу із визначення областей енергоефективної роботи СЕ з КТНУ та ПДТ детально представлено в публікації [21].

У дослідженні [21], за умов  $K_{КТНУ} > 1$  та  $K_{СЕ} > \eta_{ПК}$  та режимів енергоефективної роботи КТНУ, визначено області енергоефективної роботи та енергоефективні режими роботи СЕ з КТНУ та піковими паливними котлами для різних рівнів потужності та енергоефективності елементів СЕ. В дослідженні [21] визначено, що запропоновані СЕ з КТНУ та піковими паливними котлами будуть енергоефективними, якщо частка навантаження КТНУ в СЕ становитиме  $\beta > 0,4$ . У разі виконання цієї умови сучасні вискоефективні електричні та паливні котли будуть поступатися за енергоефективністю вказаним СЕ. За цих умов зазначені СЕ можуть бути рекомендовані як вискоефективні системи енергозабезпечення, оскільки їх ефективність більш, ніж в два рази перевищує енергоефективність вискоефективних електричних та паливних котлів [21].

В дослідженні [21], за умов  $K_{КТНУ} > 1$  та  $K_{СЕ} > \eta_{ЕК}$  та режимів енергоефективної роботи КТНУ, визначено області енергоефективної роботи та енергоефективні режими роботи СЕ з КТНУ та піковими електроджерелами, з різними варіантами джерел електричної енергії для пікового електроджерела, для різних рівнів енергоефективності елементів СЕ. В дослідженні [21] визначено, що запропоновані СЕ з КТНУ та пікових електроджерелами будуть енергоефективними, якщо частка навантаження КТНУ в СЕ становитиме  $\beta > 0,7$ . За цих умов зазначені СЕ можуть бути рекомендовані як вискоефективні системи енергозабезпечення, оскільки навіть за мінімальної ефективності ГПД і котла, енергоефективність системи енергозабезпечення майже в два рази перевищує енергоефективність вискоефективних електричних та паливних котлів [21].

Запропоновані в роботі [21] підходи із визначення областей енергоефективної роботи СЕ з КТНУ і ПДТ дозволяють визначити енергоефективні режими роботи та розробити рекомендації з енергоефективної експлуатації СЕ з різними схемними рішеннями, з урахуванням комплексного впливу змінних режимів роботи, джерел приводної енергії для парокомпресійних ТНУ різних рівнів потужності, з урахуванням втрат енергії при генеруванні, постачанні і перетворенні електричної енергії.

В низці наших закордонних та вітчизняних публікацій [2 – 5; 7; 20] запропоновані підходи із визначення областей високої енергоефективності СЕ з КТНУ різних рівнів потужності та різними ПДТ, які дозволяють визначити вискоефективні режими роботи вказаних СЕ з урахуванням комплексного впливу змінних режимів роботи, різних рівнів енергоефективності елементів СЕ, джерел приводної енергії для парокомпресійних КТНУ різних рівнів потужності, з урахуванням втрат енергії при генеруванні електричної енергії та енергоперетвореннях в елементах СЕ.

Запропоновані в [12; 14; 18] методичні основи та приведені в [2 – 5; 7; 20] результати досліджень можуть бути використані для визначення областей високої енергоефективності СЕ з ПДТ та парокомпресійними КТНУ різних рівнів потужності з різними холодоагентами, джерелами низькотемпературної теплоти та схемними рішеннями, і з різними рівнями енергоефективності елементів СЕ. Одержані в статтях [2 – 5; 7; 20] наукові результати із визначення областей високої енергоефективності СЕ з КТНУ та ПДТ дозволяють розробити рекомендації з вискоефективної експлуатації СЕ з КТНУ та ПДТ з різними холодоагентами, джерелами приводної енергії КТНУ, з різними схемними рішеннями та за умов різного топологічного складу СЕ.

У статті [7] області високої енергоефективності та високоенергоефективні режими роботи СЕ з КТНУ великої потужності та піковими ПК для різних рівнів енергоефективності елементів СЕ були визначені за умов  $K_{КТНУ} > 1,3$  та  $K_{СЕ} > 1$  та режимів енергоефективної роботи КТНУ. В [7] визначено, що СЕ з КТНУ та піковими ПК, запропоновані в дослідженні, будуть високоенергоефективними, якщо частка навантаження КТНУ в СЕ становитиме  $\beta > 0,4$  та значення показника енергетичної ефективності КТНУ буде становити  $K_{КТНУ} > 1,3$ . За цих умов сучасні

високоефективні електричні та паливні котли будуть поступатися за енергоефективністю вищезазначеним СЕ. За цих умов вищевказані СЕ можуть бути рекомендовані як високоенергоефективні системи енергозабезпечення, оскільки їх ефективність більш, ніж в два рази перевищує енергоефективність високоефективних електричних та паливних котлів [7].

У статті [4] області високої енергоефективності та високоенергоефективні режими роботи СЕ з КТНУ малої потужності та піковими ЕК в системах теплопостачання, для різних рівнів енергоефективності елементів СЕ, були визначені за умов  $K_{КТНУ} > 1,5 \dots 1,7$  (в залежності від різних рівнів енергоефективності елементів СЕ) та  $K_{СЕ} > 1$ . В [4] визначено, що СЕ з КТНУ малої потужності та піковими ЕК для систем теплопостачання будуть високоенергоефективними, якщо частка навантаження КТНУ в СЕ становитиме  $\beta > 0,5 \dots 0,61$  (в залежності від різних рівнів енергоефективності ГПД та ЕК). За цих умов вищевказані СЕ можуть бути рекомендовані як високоенергоефективні системи енергозабезпечення, оскільки їх ефективність майже в два рази перевищує енергоефективність високоефективних електричних та паливних котлів [4].

У статті [2] області високої енергоефективності та високоенергоефективні режими роботи СЕ з КТНУ великої потужності та піковими ПК в системах теплопостачання, для різних рівнів енергоефективності елементів СЕ, були визначені за умов  $K_{КТНУ} > 1,3$  та  $K_{СЕ} > 1$  та режимів енергоефективної роботи КТНУ. В [2] визначено, що СЕ з КТНУ великої потужності та піковими ПК для систем теплопостачання, запропоновані в дослідженні, будуть високоенергоефективними, якщо частка навантаження КТНУ в СЕ становитиме  $\beta > 0,264 \dots 0,421$  (в залежності від різних рівнів енергоефективності елементів СЕ) та значення показника енергетичної ефективності КТНУ буде  $K_{КТНУ} > 1,3$ . Згідно з [2], СЕ з КТНУ великої потужності та піковими ПК для випадків мінімальної ефективності ГПД та ПК та за умов  $\beta = 0,421 \dots 0,63$  та  $K_{КТНУ} = 1,3 \dots 1,6$  можуть бути рекомендовані як високоефективні системи енергозабезпечення для теплопостачання, оскільки їх ефективність перевищує енергоефективність високоефективних електричних та паливних котлів. Згідно з [2], СЕ з КТНУ великої потужності та піковими ПК для випадків максимальної ефективності ГПД та ПК та за умов  $\beta = 0,264 \dots 0,63$  та  $K_{КТНУ} = 1,3 \dots 2,1$  можуть бути рекомендовані як високоефективні системи енергозабезпечення для теплопостачання, оскільки їх ефективність майже в два рази перевищує енергоефективність високоефективних електричних та паливних котлів. Досліджувані СЕ можуть скласти конкуренцію сучасним високоефективним електричним та паливним котлам в системах теплопостачання та енергозабезпечення. За цих умов сучасні високоефективні електричні та паливні котли будуть поступатися за енергоефективністю вищезазначеним СЕ для теплопостачання. За вищевказаних умов зазначені СЕ можуть бути рекомендовані як високоенергоефективні системи енергозабезпечення для теплопостачання, оскільки їх ефективність майже в два рази перевищує енергоефективність високоефективних електричних та паливних котлів [2].

У статті [5] області високої енергоефективності та високоенергоефективні режими роботи СЕ з КТНУ малої потужності та піковими ПК, для різних рівнів енергоефективності елементів СЕ, були визначені за умов  $K_{КТНУ} > 1,1 \dots 1,4$  (в залежності від різних рівнів енергоефективності елементів СЕ) та  $K_{СЕ} > 1$  та енергоефективних режимів роботи КТНУ. В [5] визначено, що СЕ з КТНУ малої потужності та піковими ПК, запропоновані в дослідженні, будуть високоенергоефективними, якщо частка навантаження КТНУ в СЕ становитиме  $\beta > 0,5$  для оптимальних режимів роботи КТНУ та значень показника енергоефективності КТНУ  $K_{КТНУ} > 1,1 \dots 1,2$  (в залежності від різних рівнів енергоефективності елементів СЕ). За цих умов вищевказані СЕ можуть бути рекомендовані як високоенергоефективні системи енергозабезпечення, оскільки їх ефективність майже в два рази перевищує енергоефективність високоефективних електричних та паливних котлів. У [5] визначено, що СЕ з КТНУ малої потужності та піковими ПК, запропоновані в дослідженні, будуть високоенергоефективними, якщо частка навантаження КТНУ в СЕ становитиме  $\beta > 0,2$  для високоефективних режимів роботи КТНУ. Проте, такі режими роботи СЕ будуть забезпечені за умов високоефективної роботи КТНУ з показниками енергоефективності  $K_{КТНУ} > 1,4$ . За цих умов вищевказані СЕ можуть бути рекомендовані як високоенергоефективні системи енергозабезпечення, оскільки їх ефективність майже в два рази перевищує енергоефективність високоефективних електричних та паливних котлів. В цьому випадку сучасні високоефективні електричні та паливні котли будуть поступатися за енергоефективністю вищезазначеним СЕ. За цих умов вищевказані СЕ можуть бути рекомендовані як високоенергоефективні системи енергозабезпечення, оскільки їх ефективність більше, ніж в два рази перевищує енергоефективність високоефективних електричних та паливних котлів [5].

У статті [3] області високої енергоефективності та високоенергоефективні режими роботи СЕ з КТНУ малої потужності та піковими ЕК, для різних рівнів енергоефективності елементів СЕ, були визначені за умов  $K_{КТНУ} > 1,4 \dots 1,7$  (в залежності від джерела приводної енергії для парокompресійних КТНУ та різних рівнів енергоефективності елементів СЕ) та  $K_{СЕ} > 1$  та енергоефективних режимів роботи КТНУ. В [3] визначено, що СЕ з КТНУ малої потужності та піковими ЕК, запропоновані в дослідженні, будуть високоенергоефективними, якщо частка навантаження КТНУ в СЕ становитиме  $\beta > 0,5 \dots 0,7$  (в залежності від джерела приводної енергії для парокompресійних КТНУ та різних рівнів енергоефективності елементів СЕ). В цьому випадку сучасні високоенергоефективні електричні та паливні котли будуть поступатися за енергоефективністю вищезазначеним СЕ. За цих умов вищевказані СЕ з КТНУ малої потужності та піковими ЕК можуть бути рекомендовані як високоенергоефективні СЕ, оскільки, навіть за умов мінімальної ефективності ГПД та електричного котла, енергоефективність СЕ майже в два рази перевищує енергоефективність високоенергоефективних електричних та паливних котлів. Зазначені СЕ можуть скласти конкуренцію сучасним високоенергоефективним електричним та паливним котлам в системах теплопостачання та енергозабезпечення [3].

У статті [20], за умов мінімальної ефективності ГПД та ПК, визначена область високої енергоефективності СЕ з КТНУ малої потужності та піковим ПК для теплопостачання, яка відповідає високоенергоефективним режимам роботи СЕ з КТНУ з  $\beta = 0,421 \dots 0,63$  та  $K_{КТНУ} = 1,3 \dots 1,6$ . Зазначені СЕ можуть бути рекомендовані як високоенергоефективні системи енергозабезпечення, оскільки їх ефективність майже в півтора рази перевищує енергоефективність високоенергоефективних електричних та паливних котлів. У роботі [20] за умов максимальної ефективності ГПД та ПК визначена область високої енергоефективності СЕ з КТНУ малої потужності та піковим ПК для теплопостачання, яка відповідає високоенергоефективним режимам роботи СЕ з КТНУ з  $\beta = 0,264 \dots 0,63$  та  $K_{КТНУ} = 1,3 \dots 2,1$ . Вказані СЕ можуть бути рекомендовані як високоенергоефективні системи енергозабезпечення, оскільки їх ефективність більш, ніж в півтора рази перевищує енергоефективність високоенергоефективних електричних та паливних котлів. Досліджені СЕ можуть скласти конкуренцію сучасним високоенергоефективним електричним та паливним котлам в системах теплопостачання та енергозабезпечення [20].

У статті [20] визначено, що за умови максимальної ефективності ГПД та ПК досліджені СЕ з КТНУ малої потужності та піковими ПК будуть забезпечувати високу енергоефективність, якщо частка навантаження КТНУ в СЕ становитиме  $\beta > 0,264$ . За умови мінімальної ефективності ГПД та ПК досліджені СЕ з КТНУ малої потужності та піковими ПК будуть забезпечувати високу енергоефективність, якщо частка навантаження КТНУ в СЕ становитиме  $\beta > 0,421$ .

У дослідженнях [12; 17; 23] запропоновано методичні основи з оцінювання енергетичної та енергоекономічної ефективності СЕ з КТНУ та ПДТ. В роботі [23] обґрунтовано показники з оцінки енергоекономічної ефективності СЕ на основі комбінованих КТНУ та ПДТ з метою визначення енергоефективних та економічно обґрунтованих режимів роботи СЕ на основі комбінованих КТНУ та ПДТ, з урахуванням комплексного впливу змінних режимів роботи, джерел приводної енергії для парокompресійних ТНУ, з урахуванням втрат енергії при генеруванні, постачанні і перетворенні електричної енергії.

У дослідженнях [17; 23] запропоновано здійснювати комплексну оцінку енергоекономічної ефективності СЕ з КТНУ та ПДТ за комплексним узагальненим безрозмірним критерієм енергоекономічної ефективності СЕ з КТНУ та ПДТ, який має вид:

$$K_{СЕ}^{ен.ек} = K_{СЕ} + \Delta E_i^{CE} = (1 - \beta) \cdot K_{ПДТ} + \beta \cdot K_{КТНУ} + \Delta E_i^{CE}, \quad (6.17)$$

де  $\Delta E_i^{CE}$  – відносна економічна ефективність (у частках) для СЕ з КТНУ та ПДТ для  $i$ -го режиму роботи СЕ, яка визначається наступним чином:

$$\Delta E_i^{CE} = \frac{(E_{ДТ})_i - (E_{СЕ})_i}{(E_{ДТ})_i}, \quad (6.18)$$

де  $(E_{ДТ})_i$  – експлуатаційні витрати для  $i$ -го режиму роботи заміщеного джерела теплової енергії (ДТ);

$(E_{СЕ})_i$  – експлуатаційні витрати для  $i$ -го режиму роботи СЕ.

Як зазначено в [17; 23] економічно ефективні режими роботи СЕ з КТНУ та ПДТ будуть забезпечуватись за умови  $\Delta E_i^{CE} > 0$ . Енергоефективні та економічно обґрунтовані режими роботи СЕ з КТНУ та ПДТ буде забезпечено за умови  $K_{СЕ}^{ен.ек} > 1$ . Чим більшим буде значення показника  $K_{СЕ}^{ен.ек}$ , тим більш енергоефективними, економічно ефективними та конкурентоздатними будуть СЕ з КТНУ та ПДТ. Методичні основи з оцінювання енергоекономічної ефективності СЕ з КТНУ та ПДТ запропоновано в дослідженнях [17; 23].



У нашому дослідженні [16] запропоновані методичні основи для комплексного оцінювання енерго-еколого-економічної ефективності СЕ з КТНУ різних рівнів потужності з приводом від ГПД та піковими джерелами теплоти (наприклад, водогрійним паливним котлом, електрокотлом, сонячними колекторами тощо). В [16] запропоновано здійснювати комплексну оцінку енерго-еколого-економічної ефективності СЕ з КТНУ та ПДТ за комплексним узагальненим безрозмірним критерієм енерго-еколого-економічної ефективності СЕ з КТНУ та ПДТ:

$$K_{CE}^{компл} = K_{CE} + \Delta E_i^{CE} + \Delta EK_i^{CE} = (1 - \beta) \cdot K_{ПДТ} + \beta \cdot K_{КТНУ} + \Delta E_i^{CE} + \Delta EK_i^{CE}, \quad (6.19)$$

де  $\Delta EK_i^{CE}$  – відносна екологічна ефективність (у частках) для СЕ з КТНУ та ПДТ для  $i$ -го режиму роботи СЕ, яка визначається наступним чином:

$$\Delta EK_i^{CE} = \frac{(EK_{ДТ})_i - (EK_{СЕ})_i}{(EK_{ДТ})_i}, \quad (6.20)$$

де  $(EK_{ДТ})_i$  – кількість шкідливих викидів в атмосферу для  $i$ -го режиму роботи заміщуваного джерела теплової енергії;

$(EK_{СЕ})_i$  – кількість шкідливих викидів в атмосферу для  $i$ -го режиму роботи СЕ з КТНУ та ПДТ.

Як зазначено в [16], показник відносної екологічної ефективності СЕ з КТНУ та ПДТ  $\Delta EK_i^{CE}$  оцінює зменшення шкідливих викидів в атмосферу (у частках) від застосування СЕ з КТНУ та ПДТ для  $i$ -го режиму роботи СЕ в порівнянні з роботою альтернативного заміщуваного джерела теплової енергії. В дослідженні [16] враховувалися шкідливі викиди в атмосферу під час спалювання палива в котлах, а також шкідливі викиди під час виробництва електроенергії на електростанціях чи в джерелі приводної енергії КТНУ.

Як зазначено в дослідженнях [12; 16], енергоефективні режими роботи СЕ з КТНУ та ПДТ будуть забезпечені за умови  $K_{CE} > 1$ . В роботах [17; 23] визначено, що економічно ефективні режими роботи СЕ з КТНУ та ПДТ будуть забезпечуватись за умови  $\Delta E_i^{CE} > 0$ . В дослідженні [16] визначено, що екологічно безпечні та ефективні режими роботи СЕ з КТНУ та ПДТ будуть забезпечуватись за умови  $\Delta EK_i^{CE} > 0$ . Зазначені в [16] показники різних аспектів ефективності СЕ з КТНУ та ПДТ також використовуються для вибору найбільш ефективного пікового джерела теплоти для певного виду СЕ з КТНУ та енерго-еколого-економічно ефективних режимів роботи зазначених СЕ за умови  $K_{CE} > 1$ .

У [16] визначено, що екологічно безпечні, енергоефективні та економічно обґрунтовані режими роботи СЕ з КТНУ та ПДТ будуть забезпечуватись за умови  $K_{CE}^{компл} > 1$ . Чим більшим буде значення показника  $K_{CE}^{компл}$ , тим більш енергоефективними, екологічно безпечними та економічно ефективними та конкурентоздатними будуть СЕ з КТНУ та ПДТ.

Запропоновані роботи [16] методичні основи із комплексного оцінювання енерго-еколого-економічної ефективності СЕ з КТНУ та ПДТ мають низку переваг:

- враховують енергоефективність та рівні потужності елементів СЕ;
- враховують режими роботи парокompресійних ТНУ;
- враховують енергоефективність ПДТ в СЕ та вид споживаної ними енергії з урахуванням втрат енергії при генеруванні та постачанні енергії до ПДТ та СЕ;
- враховують екологічну ефективність ПДТ в СЕ та вид споживаної ними енергії з урахуванням втрат енергії при генеруванні та постачанні енергії до ПДТ та СЕ;
- враховують енергетичну ефективність змінних режимів роботи СЕ зі зміною розподілу навантаження між парокompресійними КТНУ та ПДТ в СЕ;
- дозволяють оцінювати комплексний вплив на енергетичну, екологічну та економічну ефективність СЕ з КТНУ та ПДТ таких чинників: змінних режимів роботи СЕ, пікових джерел теплоти СЕ, джерел приводної енергії парокompресійних КТНУ з урахуванням втрат енергії при генеруванні, постачанні і перетворенні електричної енергії в КТНУ та СЕ;
- дозволяють комплексно оцінювати енерго-еколого-економічну ефективність значної кількості варіантів СЕ з КТНУ та ПДТ за умов змінних режимів роботи;
- використовуються для вибору найбільш енергоефективного, екологічно безпечного та економічно обґрунтованого ПДТ для певного виду СЕ;
- запропоновані в [16] методичні основи можуть бути використані для комплексного оцінювання енерго-еколого-економічної ефективності СЕ з ПДТ та КТНУ з різними холодоагентами, джерелами низькотемпературної теплоти та схемними рішеннями ТНУ.

Область енергоекономічної та екологічно безпечної роботи СЕ з використанням теплоти ґрунту, з КТНУ малої потужності та піковим електричним котлом, зі споживанням електричної енергії від КТНУ з дослідження [16] показана для прикладу нижче (рис. 6.33). У дослідженні [16] значення безрозмірного критерію енерго-еколого-економічної ефективності СЕ з КТНУ та ПДТ були визначені для режимів енергоефективної роботи КТНУ з  $K_{КТНУ} = 1,1 \dots 1,6$  (за умов мінімальної ефективності ПДТ) на основі результатів досліджень [11; 12].

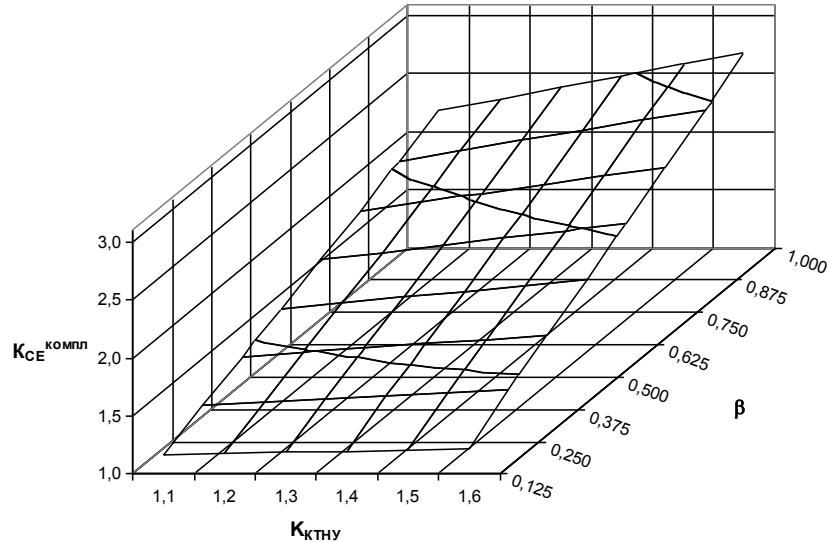


Рис. 6.33. Область енергоекономічної та екологічно безпечної роботи СЕ з використанням теплоти ґрунту, з КТНУ малої потужності та піковим електричним котлом, за умов мінімальної ефективності ПДТ та пікового електричного котла та споживанням електричної енергії від КТНУ  
Джерело: [16]

Область енергоекономічної та екологічно безпечної роботи СЕ з дослідження [16] (рис. 6.33) визначена за показником енерго-еколого-економічної ефективності СЕ з КТНУ та ПДТ з формули (6.19) за умов мінімальної ефективності ПДТ та пікового електричного котла. В дослідженні [16], згідно з [11; 12], враховані: значення ефективного ККД ПДТ  $\eta_{ЕД} = 0,31$ , значення ККД електричного двигуна з урахуванням втрат енергії в блоці управління двигуном  $\eta_{ЕП} = 0,8$ . Піковим джерелом теплоти в СЕ була передбачена електрична котельня з  $\eta_{ЕК} = 0,9$ . Значення безрозмірного критерію енергоефективності електричного котла у разі споживання електроенергії від КТНУ, згідно з [12], становило  $K_{ПДТ}^{ЕК} = 0,223$ . В дослідженні [16], з метою оцінювання відносної екологічної ефективності СЕ з КТНУ та ПДТ, як альтернативне джерело теплоти передбачалась електрична котельня відповідної потужності [16].

Область енергоекономічної та екологічно безпечної роботи СЕ з КТНУ та ЕК з дослідження [16] (рис. 6.33) визначена за умов  $K_{СЕ}^{КОМПЛ} > 1,16 \dots 2,68$ , що підтверджує високу енергоефективність, екологічну безпечність, економічну ефективність та конкурентоздатність цього варіанту СЕ з КТНУ та ПДТ.

Запропоновані в дослідженні [16] методичні основи дозволяють визначити області високої енергоекономічної ефективності та екологічно безпечної роботи СЕ з КТНУ та ПДТ та розробити рекомендації з високоефективної експлуатації СЕ з КТНУ та ПДТ. Для практичного застосування запропонованих методичних основ з комплексного оцінювання енерго-еколого-економічної ефективності різних варіантів СЕ з КТНУ та ПДТ ми пропонуємо використовувати результати з досліджень [2 – 7; 9 – 23].

У нашому дослідженні проведено узагальнення наукових результатів з наших досліджень [2 – 7; 9 – 23] з метою узагальнення рекомендацій щодо комплексного оцінювання енерго-еколого-економічної ефективності СЕ з КТНУ різних рівнів потужності та ПДТ, що дозволяють забезпечити обґрунтоване визначення високоенергоефективних, екологічно безпечних та економічно обґрунтованих режимів роботи СЕ з КТНУ, з урахуванням комплексного впливу: рівнів потужності СЕ та КТНУ, змінних режимів роботи СЕ та її елементів (КТНУ та ПДТ), рівнів енергоефективності елементів СЕ, холодоагентів, джерел приводної енергії КТНУ та топологічного складу СЕ, з урахуванням втрат енергії при генеруванні, постачанні і перетворенні електричної енергії в КТНУ та СЕ.

**6.14. Еколого-економічні системи опалення**

© Андрющенко А. М.

*ст. викладач кафедри теоретичної, загальної та нетрадиційної енергетики,  
Одеський національний політехнічний університет, м. Одеса, Україна*

© Нікульшин В. Р.

*д.т.н., професор, завідувач кафедри теоретичної, загальної та нетрадиційної енергетики,  
Одеський національний політехнічний університет, м. Одеса, Україна*

© Денисова А. Є.

*д.т.н., професор кафедри теплових електростанцій та енергозберігаючих технологій,  
директор Українсько-польського інституту,  
Одеський національний політехнічний університет, м. Одеса, Україна*

Необхідно відзначити, що системи електричного опалення є найбільш екологічно безпечними у порівнянні з іншими джерелами енергії тому, що електрогенерація здійснюється далеко за межами великих міст на відміну від теплогенерації, яка передбачає спалення природного газу або різних видів біопалива безпосередньо в межах міста.

Крім того, різке і нерівномірне подорожчання вартості різних видів енергоресурсів, які використовуються для опалення, спонукає до пошуку альтернативних економічних рішень. Знизити витрати на опалення можна за рахунок зниження втрат теплоти огорожувальними конструкціями будівель в результаті їх термомодернізації а також за рахунок переходу на використання альтернативних енергетичних ресурсів [7].

Серед альтернативних варіантів, в першу чергу для великих міст, в останні роки розглядаються електричне опалення з нічним акумулюванням теплоти та електричний підігрів теплоносія в нічний час в системах централізованого теплопостачання [3].

Ще одним позитивним аспектом застосування електроопалення за умови його достатнього поширення, є економія природного газу.

Було розглянуто найбільш простий варіант електроопалення – використання ТЕНів, а не теплових насосів. Теплові насоси, як відомо, дозволили б приблизно в три рази зменшити витрати електроенергії на опалення, але при цьому мали б вимагати багатотисячних доларових вкладень з терміном окупності від 3 років і більше, що в нинішній економічній ситуації для України мало прийнятне.

Проблема пошуку ефективних рішень для різних систем опалення є актуальною протягом останніх десятиліть і залишатиметься такою в найближчому доступному для огляду майбутньому.

Число публікацій з цієї тематики обчислюється десятками тисяч. Тому коротко зупинимося тільки на деяких з них. Значна частина публікацій присвячена системам централізованого опалення (як від ТЕЦ, так і від котелень).

Особливий інтерес для даної роботи представляють публікації, в тому числі і вітчизняні, в яких розглянуті питання електроопалення з акумуляцією теплоти.

У [6] проведено пошуки раціональних комбінацій систем електроопалення з поновлюваними джерелами енергії, економічно обґрунтовані тарифи для опалення наведені в [5], в [4] – оцінені можливості раціонального компонування теплоаккумуляторів з системами електроопалення, в [1] – оцінений вплив ринкових факторів на ефективність систем електроопалення. На відміну від них в даній роботі акцент зроблений не на теоретичний опис розрахунку самих систем опалення, а на практичні результати таких розрахунків. Звідси виникає наступна проблема – визначення необхідного опалювального навантаження будівлі (незалежно від конкретного виду використаної внутрішньобудинкової системи опалення), порівняння на цій основі різних можливих варіантів підведення теплоти до будівлі і вибору найбільш економічного з них.

Мета дослідження – обґрунтування енергозберігаючого характеру системи електричного опалення з нічним акумулюванням теплоти в порівнянні з іншими можливими варіантами опалення.

Для досягнення поставленої мети повинні бути вирішені наступні завдання:

– розробити метод і програму розрахунку для визначення основних технічних характеристик (корисний об'єм бака-акумулятора гарячої води і потужність електронагрівача) електричної системи опалення з акумулятором теплоти та обліком електроенергії по тризонному тарифу;

– порівняти вартості централізованого теплопостачання з газовим опаленням, з цілодобовим електричним опаленням при обліку електроенергії по однозонному тарифу, а також з пелетним опаленням;

– привести чисельний приклад розрахунку і порівняльний аналіз витрат на опалення офісної будівлі, розташованої в м. Києві (за реальними погодними умовами в цьому місті) і показати переваги системи опалення з нічним теплоаккумуляванням.

Зарядка теплового акумулятора (рис. 6.34) проводиться при включенні електрочотла і циркуляційного насоса зарядного контуру, переважно в нічний час.

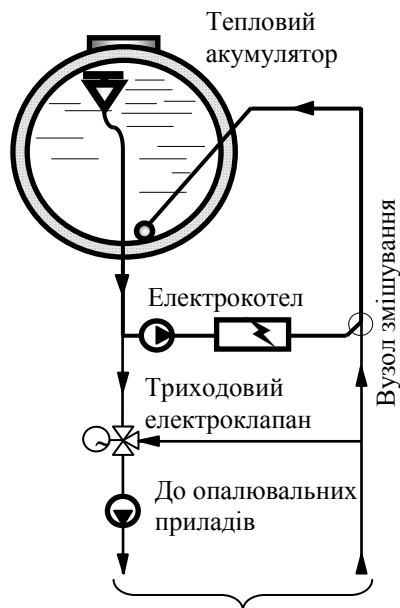


Рис. 6.34. Принципова схема системи електричного опалення з водяним тепловим акумулятором  
Джерело: [2]

Подача теплоносія до опалювальних приладів будівлі забезпечується циркуляційним насосом витратного контуру безперервно протягом всього опалювального сезону.

Схемою передбачено погодне регулювання температури теплоносія, що подається до опалювальних приладів за рахунок підмішування частини поворотного теплоносія за допомогою триходового електрочотла. Тим самим забезпечується енергозберігаючий режим роботи і необхідне опалювальне навантаження системи в залежності від температури зовнішнього повітря.

У розрахунку прийняті наступні допущення:

- тепловий акумулятор і електрочотел розташовані безпосередньо в опалювальному приміщенні, тому не враховуються втрати теплоти через теплову ізоляцію акумулятора і через поверхню електрочотла;

- ефективність електрочотла прийнята рівною 100 %;

- залежність опалювального навантаження будівлі від температури зовнішнього повітря має лінійний характер: зовнішній температурі +18°C відповідає нульове опалювальне навантаження, мінімальній розрахунковій температурі зовнішнього повітря відповідно до статистичних кліматичними даними відповідає 100 % – не опалювальне навантаження будівлі; опалення працює тільки при температурах зовнішнього повітря нижче +8°C;

- передбачається, що при всіх варіантах використання різних енергоресурсів система працює в режимі адекватного погодного регулювання;

- корисна різниця температур теплоносія в повністю зарядженому тепловому акумуляторі і повністю розрядженому прийнята рівною 35 K;

- розрахунок поточного значення температури теплоносія в об'ємі теплового акумулятора при роботі системи виконується за моделлю ідеального перемішування, без урахування температурної стратифікації;

- тарифи і ціни різних енергоресурсів прийняті за станом на грудень 2017 р.

Методикою розрахунку враховується можливість включення електрочотла в денний час, в напівпіковий період навантаження енергосистеми, при температурах зовнішнього повітря нижче заданої температури виключно нічного електроспоживання  $t^{\text{night}}$ , при цьому також передбачається включення електрочотла на неповну потужність.

При лінійної залежності між температурою зовнішнього повітря і опалювальним навантаженням будівлі, частка повного опалювального навантаження будівлі в залежності від температури зовнішнього повітря, складе:

$$q/q^{\text{calc}} = \varphi^q = (t_{\text{in}}^{\text{calc}} - t) / (t_{\text{in}}^{\text{calc}} - t^{\text{calc}}), \quad (6.21)$$

де  $q$  – питома опалювальне навантаження будівлі, Вт/м<sup>2</sup>, при поточному значенні температури зовнішнього повітря  $t$ , °C;

$q^{calc}$  – питоме максимальне розрахункове опалювальне навантаження будівлі, Вт/м<sup>2</sup>, при нормативній мінімальній розрахунковій температурі зовнішнього повітря  $t^{calc}$ , °С;

$t$  – поточна температура зовнішнього повітря, °С;

$t_{in}^{calc} = +18$  °С – розрахункова температура повітря, при якій опалювальне навантаження дорівнює нулю;

$t_{trac}$  – нормативна мінімальна розрахункова температура зовнішнього повітря, для Києва  $t^{calc} = 22$  °С.

Питомі нормативні втрати теплоти будівлею за опалювальний сезон є сума щомісячних втрат теплоти протягом опалювального сезону:

$$Q_{year}^{norm} = q_{oct} + q_{nov} + q_{dec} + q_{jan} + q_{feb} + q_{mar} + q_{apr}, \text{ кВт-год./м}^2, \quad (6.22)$$

де  $q_{oct} \dots q_{apr}$  – щомісячні питомі втрати теплоти, кВт-год./м<sup>2</sup>, які з урахуванням (6.21) можна виразити у вигляді:

$$q_{oct} = \varphi_{oct}^q \cdot q^{calc} \cdot \tau_{oct} = (18 - t_{oct}) \cdot q^{calc} \cdot \tau_{oct} / (18 - t^{calc});$$

$$q_{apr} = \varphi_{apr}^q \cdot q^{calc} \cdot \tau_{apr} = (18 - t_{apr}) \cdot q^{calc} \cdot \tau_{apr} / (18 - t^{calc}),$$

де  $\varphi_{oct}^q \dots \varphi_{apr}^q$  – частки повного опалювального навантаження при середньомісячних температурах зовнішнього повітря відповідного місяця опалювального періоду;

$\tau_{oct} \dots \tau_{apr}$  – число годин у відповідному місяці опалювального періоду, год.;

$q^{calc}$  – питомі втрати теплоти будівлею, кВт/м<sup>2</sup>, при нормативній мінімальній розрахунковій температурі зовнішнього повітря  $t^{calc}$ , °С;

$t_{oct} \dots t_{apr}$  – середньомісячні температури повітря у відповідному місяці, °С. Тоді:

$$Q_{year}^{norm} = q^{calc} \cdot [\tau_{oct} \cdot (18 - t_{oct}) + \tau_{nov} \cdot (18 - t_{nov}) + \tau_{dec} \cdot (18 - t_{dec}) + \tau_{jan} \cdot (18 - t_{jan}) + \tau_{feb} \cdot (18 - t_{feb}) + \tau_{mar} \cdot (18 - t_{mar}) + \tau_{apr} \cdot (18 - t_{apr})] / (18 - t^{calc}), \text{ кВт-год./м}^2.$$

Отже, максимальні розрахункові питомі втрати теплоти будівлею, кВт/м<sup>2</sup>, при нормативній мінімальній розрахунковій температурі зовнішнього повітря, дорівнюють:

$$q^{calc} = (18 - t^{calc}) \cdot Q_{year}^{norm} / [\tau_{oct} \cdot (18 - t_{oct}) + \tau_{nov} \cdot (18 - t_{nov}) + \tau_{dec} \cdot (18 - t_{dec}) + \tau_{jan} \cdot (18 - t_{jan}) + \tau_{feb} \cdot (18 - t_{feb}) + \tau_{mar} \cdot (18 - t_{mar}) + \tau_{apr} \cdot (18 - t_{apr})], \text{ кВт/м}^2.$$

Максимальне розрахункове опалювальне навантаження будівлі при нормативній мінімальній розрахунковій температурі зовнішнього повітря  $t^{calc}$  відповідає значенню  $\varphi^q = 1$  та дорівнює:

$$\Phi^{calc} = A \cdot q^{calc}, \text{ кВт}, \quad (6.23)$$

де  $A$  – сумарна опалювальна площа будівлі, м<sup>2</sup>.

Добове споживання теплоти будівлею при нормативній мінімальній розрахунковій температурі зовнішнього повітря  $t^{calc}$ :

$$Q^{calc} = 24 \cdot \Phi^{calc}, \text{ кВт-год./доба} \quad (6.24)$$

При мінімальній розрахунковій температурі виключно нічного електроспоживання  $t^{night}$ , °С, опалювальне навантаження  $\Phi^{night}$  і добове споживання теплоти будівлею  $Q^{night}$  складуть:

$$\Phi^{night} = \Phi^{calc} \cdot \varphi^{night} = \Phi^{calc} \cdot (t_{in}^{calc} - t^{night}) / (t_{in}^{calc} - t^{calc}), \text{ кВт} \quad (6.25)$$

$$Q^{night} = 24 \cdot \Phi^{night}, \text{ кВт-год./доба} \quad (6.26)$$

За час пільгового нічного електроспоживання (протягом 7 год.) при температурі  $t^{night}$  необхідно провести повну зарядку водяного теплового акумулятора одночасно з подачею теплоти на опалення будівлі.

При цьому запас теплоти, накопиченої в тепловому акумуляторі, повинен забезпечити опалення будинку протягом денного періоду тривалістю 17 год.

Отже, загальна кількість теплоти в тепловому акумуляторі складе:

$$Q^{acc} = 17 \cdot \Phi^{night}, \text{ кВт-год.} \quad (6.27)$$

Оскільки тепловий акумулятор повинен зарядитися протягом 7 годин одночасно з подачею теплоти на опалення будівлі, електрична потужність котла складе:

$$N = \Phi^{night} + Q^{acc} / 7, \text{ кВт.} \quad (6.28)$$

Корисний об'єм теплового акумулятора:

$$V^{acc} = Q^{acc} \cdot 3600 / (c_p \cdot \rho \cdot \Delta T^{acc}), \text{ м}^3, \quad (6.29)$$

де  $c_p = 4,19$  кДж/(кг·К) – питома ізобарна теплоємність води;  $\rho = 1000$  кг/м<sup>3</sup> – щільність води;  $\Delta T^{acc} = 35$  К – корисна різниця температур води в тепловому акумуляторі.

Розрахункова тривалість роботи електричного котла протягом доби в денний час при нормативній мінімальній розрахунковій температурі зовнішнього повітря:

$$\tau^{day} = (Q^{calc} - Q^{night}) / N, \text{ год.} \quad (6.30)$$

За результатами розрахунків  $\tau^{day}$  повинна виходити менше, ніж тривалість напівпікового періоду для виключення роботи електродвигуна в піковий денний період з найбільш дорогим тарифом.

На базі виразів (6.21 – 6.30) підготовлена програма в MS Excel для варіантних порівняльних розрахунків систем електричного опалення з тепловим акумулятором.

Нижче наведено приклад розрахунку такої системи опалення офісної будівлі, розташованої в м. Києві.

Вихідні дані і результати розрахунку наведені в табл. 6.36 для офісної будівлі площею 1000 м<sup>2</sup> з максимальним питомим розрахунковим опалювальним навантаженням  $q^{calc} = 40 \text{ Вт/м}^2$ , що відповідає добре утепленій будівлі. Розрахункова сумарна потужність ТЕНів електрокотла становить (при роботі переважно вночі) 102,9 кВт, при корисному об'ємі теплового акумулятора 12,52 м<sup>3</sup>, тоді як розрахункова потужність електрокотла, при цілодобовій роботі без теплового акумулятора, дорівнює 40 кВт.

*Таблиця 6.36*

**Вихідні дані та технологічні результати розрахунку**

Сумарна опалювальна площа будівлі, м <sup>2</sup>	1000
Максимальне питоме опалювальне навантаження будівлі, Вт/м <sup>2</sup>	40
Нормативні максимальні сезонні тепловтрати будівлі по ДБН В2.6-31:2016, кВт-год./м <sup>2</sup>	83
Мінімальна зовнішня температура виключно нічного електроспоживання (при більш низьких температурах відбувається денне включення електрокотла), °С	- 12
Частка електричної потужності при денному включенні електрокотла, %	50
Розрахункова сумарна потужність ТЕНів електрокотла, кВт	102,9
Розрахункова потужність ТЕНів електрокотла при цілодобовій роботі без теплового акумулятора, кВт	40,0
Корисна різниця температур води в теплому акумуляторі, К	35,0
Корисний розрахунковий об'єм теплового акумулятора, м <sup>3</sup>	12,52
Базовий тариф електроенергії без ПДВ, коп./(кВт-год.)	163,545
Вартість споживаної теплоти при централізованому теплопостачанні, грн/Гкал	1286,07
Вартість централізованого теплопостачання при оплаті за одиницю опалювальної площі, грн/(м <sup>2</sup> ·міс.)	30
Вартість природного газу для промислової котельні, грн/тис. м <sup>3</sup>	9692,4
Вартість природного газу в складі споживаної теплоти при централізованому теплопостачанні, з урахуванням ККД газового котла, грн/Гкал	1156,6
Вартість пелет, грн/т	2410
Теплотворна здатність пеллет, МДж/кг	18,0
Вартість пелетної теплоти з урахуванням ККД пелетного котла, грн/Гкал	700,7
Вартість теплоти при цілодобовому електроопаленні без теплового акумулятора, грн/Гкал	2282,4

*Джерело: розрахунки авторів*

Розрахунок виконаний для випадку, коли при температурі зовнішнього повітря нижче - 12 °С буде відбуватися включення електрокотла на 50 %-ній потужності для підігріву теплоносія в денний час. При мінімальній розрахунковій температурі тривалість денного включення електрокотла не перевищить 5 год.

У табл. 6.37 представлені результати розрахунків помісячних витрат на опалення будівлі при використанні різних енергоресурсів і форм оплати. У табл. 6.38 і на рис. 6.35 показані результати розрахунків сумарних сезонних витрат на опалення будівлі при використанні різних енергоресурсів.

*Таблиця 6.37*

**Помісячні витрати на опалення при використанні різних енергоресурсів**

Місяць	Жовтень	Листопад	Грудень	Січень	Лютий	Березень	Квітень
Середня температура, °С	7,50	1,20	- 3,50	- 5,90	- 5,20	- 0,40	7,50
Спожита теплота, Гкал/місяць	3,84	10,40	13,75	15,29	13,41	11,77	3,71
Спожита теплота, кВт-год./місяць	4464	12096	15996	17782	15590	13690	4320
Вартість спожитої електроенергії, тис. грн/місяць	2,19	5,93	7,85	8,72	7,65	6,72	2,12
Вартість спожитої електроенергії при цілодобовому електроопаленні без теплового акумулятора, тис. грн/місяць	8,76	23,74	31,39	34,90	30,60	26,87	8,48
Вартість централізованого теплопостачання при оплаті за відпущену теплоту, тис. грн/місяць	4,94	13,38	17,69	19,66	17,24	15,14	4,78
Вартість централізованого теплопостачання при оплаті за опалювальну площу, тис. грн/місяць	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0
Вартість еквівалентного газу, що витрачається на опалення, тис. грн/місяць	4,44	12,03	15,91	17,68	15,50	13,61	4,30
Вартість пелетного опалення, тис. грн/місяць	2,69	7,29	9,64	10,71	9,39	8,25	2,60

*Джерело: розрахунки авторів*

За розрахунком, сумарне споживання теплоти будівлею протягом опалювального сезону становить 83,9 МВт-год., що практично відповідає нормативному рівню 83 МВт-год., отже, прийняте в розрахунку значення максимальної питомої опалювального навантаження 40 Вт/м<sup>2</sup> також відповідає нормативним тепловим втратам будівлі. Найменші сезонні витрати на опалення в сумі 41,2 тис. грн забезпечуються при використанні електричного опалення з нічним акумулюванням теплоти і з використанням тризонного обліку споживаної електроенергії. Відносно невеликі витрати 50,6 тис. грн відповідають опаленню пелетами, однак якщо врахувати супутні фактори, пов'язані з необхідністю періодичної доставки, зберіганням пелет і видаленням відходів, то електроопалення виглядає набагато кращим.

Таблиця 6.38

**Сезонні витрати на опалення при використанні різних енергоресурсів**

Спожита теплота за сезон, Гкал	72,2
Спожита теплота за сезон, МВт-год.	83,9
Нормативні максимальні сезонні тепловтрати будівлі по ДБН В2.6-31:2016, не більш, МВт-год.	83,0
Вартість спожитої електроенергії за опалювальний сезон при наявності адекватного погодного регулювання, тис. грн	41,2
Вартість спожитої електроенергії за опалювальний сезон при цілодобовому електроопаленні без теплового акумулятора, але при наявності адекватного погодного регулювання, тис. грн	164,7
Вартість централізованого тепlopостачання за опалювальний сезон при тарифі за відпущену теплоту при наявності адекватного погодного регулювання, тис. грн	92,8
Вартість централізованого тепlopостачання за опалювальний сезон при тарифі за опалювальну площу, тис. грн	210,0
Загальний обсяг спожитого за опалювальний сезон газу, при наявності адекватного погодного регулювання, тис. м <sup>3</sup>	8,6
Вартість спожитого за сезон на опалення природного газу, тис. грн	83,5
Вартість пеллетного опалення при наявності адекватного погодного регулювання, тис. грн	50,6

Джерело: розрахунки авторів

При використанні газового котла, сезонні витрати складуть 83,5 тис. грн, що вдвічі більше, ніж при електроопаленні з нічним акумулюванням теплоти.

У разі використання централізованого тепlopостачання, оплата його послуг в обсязі 92,8 тис. грн за опалювальний сезон не набагато перевищує витрати на газове опалення.

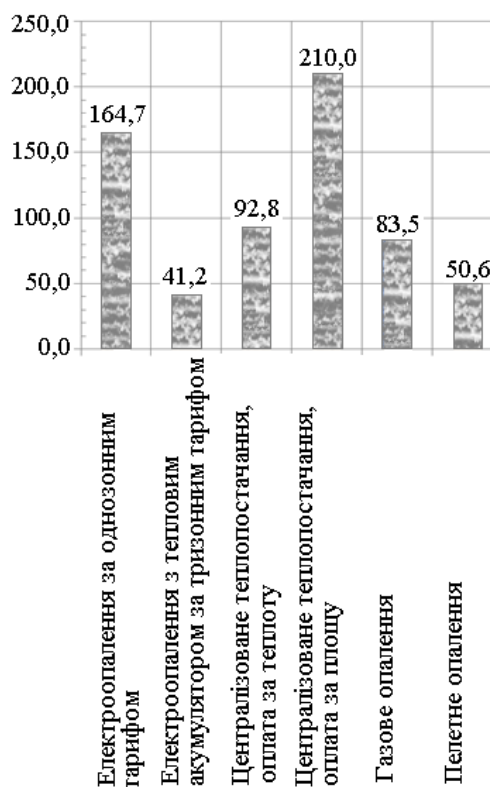


Рис. 6.35. Сезонні витрати на опалення при використанні різних енергоресурсів, тис. грн  
Джерело: розрахунки авторів

Найбільші сезонні витрати на опалення в сумі 210 тис. грн виникають у разі щомісячної оплати послуг централізованого теплопостачання за тарифом 30 грн за кожен квадратний метр опалювальної площі протягом опалювального сезону, тобто при відсутності зареєстрованого теплолічильника. Якщо використовувати електроопалення без теплового акумулявання, то за умови адекватного погодного регулювання, сезонні витрати складуть 164,7 тис. грн, що менше, ніж при централізованому теплопостачанні з оплатою послуг за тарифом за опалювальну площу.

Розглянемо також доцільність проведення реконструкції існуючих систем опалення шляхом заміни джерела теплоти на електроопалення з тепловим акумулятором за тризонним тарифом.

Порівняння здійснено з найбільш поширеним варіантом теплопостачання у великих містах України – централізованим теплопостачанням як з оплатою за споживану теплоту, так і з оплатою за опалювальну площу. Розрахунки системи електроопалення представлені у зведеній табл. 6.39.

Таблиця 6.39

**Характеристики системи електроопалення з акумулятором теплоти**

Вихідні дані для розрахунку		
Розрахункова сумарна потужність ТЕНів	102,9 кВт	
Корисна розрахункова місткість теплового акумулятора	12,52 м <sup>3</sup>	
Розрахункова різниця температур в зарядному циркуляційному контурі	5,0 К	
Розрахункова різниця температур в витратному циркуляційному контурі	10,0 К	
Швидкість руху води в зарядному циркуляційному контурі	1,5 м/с	
Швидкість руху води в витратному циркуляційному контурі	1,5 м/с	
Швидкість руху води в змішаному циркуляційному контурі	1,0 м/с	
Результати розрахунку основних технологічних характеристик системи опалення		
Розрахункова витрата води в зарядному циркуляційному контурі	4,913 кг/с	17,69 т/год.
Розрахункова витрата води в витратному циркуляційному контурі	0,955 кг/с	3,44 т/год.
Діаметр труб зарядного циркуляційного контуру	0,0646 м	64,6 мм
Діаметр труб витратного циркуляційного контуру	0,0285 м	28,5 мм
Діаметр патрубків теплового акумулятора	0,0864 м	86,4 мм
Вартісні показники системи опалення, грн		
Електрокотел	15000	
Циркуляційний насос зарядного контуру	8300	
Циркуляційний насос витратного контуру	2900	
Тепловий бак-акумулятор	18000	
Теплова ізоляція	10000	
Триходовий регулюючий клапан Ду32	1700	
Сервопривід до триходового регулюючого клапану Ду32	2500	
Блок автоматичного керування	16000	
Запірна арматура, труби, трійники, фітінги, теплоізоляція комунікацій	20000	
Монтажні роботи	45000	
Сумарна вартість	139400	

*Джерело: розрахунки авторів*

Порівняння сумарної вартості запропонованої системи електроопалення (табл. 6.39) з річними витратами на централізоване теплопостачання (рис. 6.35) доводить, що термін окупності переходу на електроопалення з централізованого теплопостачання з оплатою за споживану теплоту становить 2,7 року, а з оплатою за опалювальну площу – 0,83 року.

Отже, використання систем електроопалення з нічним акумуляванням теплоти доцільне не тільки для нових систем опалення, але і для існуючих.

### 6.15. Математична модель аналізу матеріальних потоків міського середовища

© Патракєв І. М.

*к.т.н., доцент, доцент кафедри геоінформатики і фотограмметрії,  
Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, Україна*

Нова енергетична стратегія ЄС продиктована турботою про екологію: перехід до альтернативних джерел енергії повинен радикально поліпшити стан навколишнього середовища в Європі. ЄС запланувало скоротити викиди парникових газів на 20 % до 2020 р. та на 80 – 95 % – до 2050 р. Відповідно до директиви ЄС, країни – члени Євросоюзу, зобов'язані вживати належних заходів, щоб



забезпечити дотримання межових показників екологічних викидів підприємствами та автотранспортом. Для забезпечення подальшого зниження викидів CO<sub>2</sub> автомобільним транспортом, ще в 2011 р. Єврокомісія прийняла “Стратегію на транспорті”, відповідно до якої з 2050 р. в європейських містах не повинно залишитися автотранспорту з бензиновими та дизельними двигунами, а 40 % авіапалива повинно забезпечуватися альтернативними джерелами. Підкреслена важлива роль енергії в містобудівних системах, тобто акцентується увага на необхідності планування стійкого енергетичного розвитку міського середовища (МС). У зв’язку з цим особливу увагу набуває концепція “енергетичного балансу” у МС, яку було запропоновано робочою групою Всесвітньої енергетичної ради: вироблена енергія повинна покривати споживану енергію.

Питанням оцінки якості МС присвячена велика кількість вітчизняних і зарубіжних досліджень [1, с. 128; 5; 7, с. 245]. Отже, оцінка якості міського середовища є зоною пошуку можливостей розвитку міського середовища, підвищення ефективності використання природних ресурсів, формування довгострокових стратегій стійкого розвитку. Споживання енергії і розвиток міста як штучного середовища перебуває в тісному зв’язку. Зважаючи на сучасний стан економіки та технологій, виникає проблема розробки та впровадження нової енергетичної парадигми, яка дозволить розглядати міста та агломерації як частину єдиної екосистеми та перейти від лінійного процесу споживання до циклічного (тобто переробка та відновлення) – це новий вектор розвитку міського середовища, перехід від філософії мегаполісу до філософії “екополісу” (рис. 6.36).

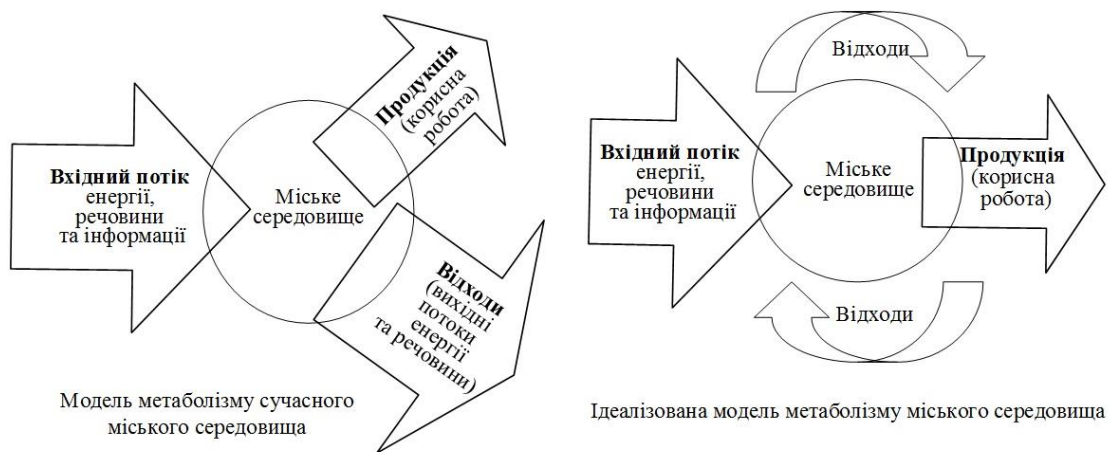


Рис. 6.36. Моделі метаболізму міського середовища

Джерело: Figure courtesy of F. Butera

В Україні урбаністична глобалізація, розвитку якої бездумно сприяє влада, є тим механізмом який прискорює інволюцію органічних форм життя і як наслідок – зростання хвороб та поступове зниження тривалості життя міського населення, істотно погіршує всі міські проблеми і автомобілізація [2, с. 36].

Отже, сучасний напрям розвитку містобудівних моделей – проектування біосферно сумісних моделей міського середовища, які основані на метаболічній ефективності, що дозволить знайти шляхи, засоби, методи попередження забруднення навколишнього природного середовища, що завжди дешевше, ніж ліквідація або усунення їх наслідки. Незважаючи на те, що міське середовище постійно взаємодіє з навколишнім середовищем у вигляді речовино-енергетичних та інформаційних потоків, такий взаємозв’язок сьогодні не враховується при прийнятті містобудівних рішень.

Розглянемо основні показники, які можуть бути використані для отримання інтегральної оцінки ефективності метаболізму міського середовища (ММС). Методика оцінки інтегральної оцінки ефективності ММС базується на науковому підході “чорного ящика”, при якому акцент робиться на балансі речовино-енергетичних та інформаційних потоків та менш приділяється увага до взаємодії цих процесів, які генерують цей баланс.

Згідно з поглядами Г. Одума, Г. Дейлі, А. Лотки кожна соціальна або жива система регулюється фундаментальним законом збереження потужності [1, с. 234]. Згідно з законом збереження потужності: повна потужність на вході в систему дорівнює сумі активної потужності і потужності втрат на виході системи:

$$N = P + G, \tag{6.31}$$

де  $N$  – повна потужність;  
 $P$  – активна (корисна) потужність;  
 $G$  – потужність втрат.

З цього закону випливає, що будь-яка зміна активної потужності компенсується зміною потужності втрат і знаходиться під контролем повної потужності системи.

Міське середовище можна розглядати як сукупність взаємодіючих підсистем. З функціональної точки зору найбільш істотними підсистемами для оцінки метаболічних процесів у МС є транспортна підсистема, підсистема містобудування база, соціально-економічна підсистема [11, с. 113].

Кожна з розглянутих підсистем може абстрактно представлена у вигляді потокової схеми взаємодії з довкіллям, як показано на рис. 6.37. Кожна з підсистем отримує певну кількість різного виду енергії, речовини, інформації ( $N_i(t)$ ) та виробляє два види продукції – один з яких є негативною продукцією, яка визначається потоком втрат  $L_i(t)$  і другий тип продукції, який використовується кожною підсистемою на забезпечення свого життєзабезпечення – корисну продукцію (яка визначається потоком корисного впливу на довкілля)  $P_i(t)$ .

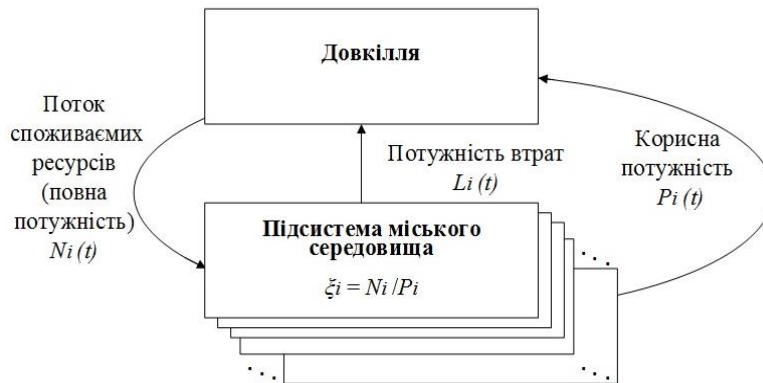


Рис. 6.37. Потокова схема взаємодії підсистем міського середовища з довкіллям

*Джерело: авторська розробка*

Кожна з розглянутих вище підсистем МС має свою власну ефективність ( $\xi_i$ ), в залежності від енергетичних витрат в кожній з них. В сукупності кожна з підсистем вносить свій внесок в інтегральну оцінку ефективності метаболізму міського середовища (ММС) –  $E$ .

Отже, виникає два питання: по-перше, як виміряти ефективність кожної з підсистем міського середовища  $i$ , по-друге, яким чином інтегрувати оцінки ефективності кожної з підсистем ( $\xi_i$ ) для отримання інтегральної оцінки ефективності ММС. Основні складності при отриманні інтегральної оцінки пов'язані з проблемою спільного використання різнорідних, гетерогенних даних. Інтегрування різнотипних даних в єдиний інформаційний простір забезпечує можливість їх аналізу і дозволяє отримати якісно нові знання про об'єкт дослідження – міське середовище.

В якості інтегрованої оцінки ефективності ММС визначимо число  $R \in [0, 100]$ . На загальну оцінку ефективності ММС впливають як природні так і техногенні, інфраструктурні, екологічні показники. Позначив показники як  $x_1 \dots x_n$ , модель оцінки ефективності ММС може бути подано як функціональне відображення виду:

$$X = (x_1 \dots x_n) \rightarrow R \in [0, 100], \quad (6.32)$$

де  $X$  – вектор поточного стану МС.

Для моделювання багатовимірних залежностей типу MISO (Multiple Input Single Output) “багато входів – один вихід” доцільно використовувати ієрархічну систему нечіткого логічного висновку (НЛВ). Перевагою ієрархічних систем НЛВ є їх компактність: адекватно описати багатовимірні залежності “багато входів – один вихід” можна невеликою кількістю нечітких правил [10, с. 24].

На практиці широко застосовують алгоритм нечіткого логічного висновку Такагі – Сугено – Канга (TSK). Принцип дії алгоритму TSK детально проаналізовано в роботі [4, с. 140]. Особливість алгоритму полягає в тому, що правила у вигляді продукцій IF ... THEN розглядаються по нечіткості лише в частині IF.

Розглянемо сукупність показників стану міського середовища  $x_1 \dots x_n$  (табл. 6.40). В таблиці показано належність кожного показника до однієї з трьох типів речовино-енергетичних потоків: вхідний

потік –  $N(t)$ , потік продукції –  $P(t)$ , потік втрат –  $L(t)$ . Кожне значення показника речовино-енергетичного потоку може належати до одного з трьох термів [12]: значення  $x_k$  може відповідати терму “мала кількість” з відповідною функцією належності  $\mu_k^1$ ; значення  $x_k$  може відповідати терму “середня кількість” з відповідною функцією належності  $\mu_k^2$ ; значення  $x_k$  може відповідати терму “велика кількість” з відповідною функцією належності  $\mu_k^3$ .

Кожна терм-множина  $A_k^j$  має відповідну функцію належності  $\mu_k^j$  де  $j \in \{1, 2, 3\}$ ; характеризують належність  $\mu_k^j$  до термів “мала кількість”, “середня кількість”, “велика кількість”.

Всього можна побудувати  $m = 3^n$  антецедентів продукційних правил TSK у вигляді [12; 28]:

$$R^{(1)} \text{ IF } x_1 \text{ IS } A_1^1 \text{ AND } x_2 \text{ IS } A_2^1 \text{ AND } \dots \text{ AND } x_n \text{ IS } A_n^1 \text{ THEN } y_1 = f(x_1, \dots, x_n);$$

$$R^{(m)} \text{ IF } x_1 \text{ IS } A_1^m \text{ AND } x_2 \text{ IS } A_2^m \text{ AND } \dots \text{ AND } x_n \text{ IS } A_n^m \text{ THEN } y_m = f(x_1, \dots, x_n).$$

На цьому етапі виконується фаззифікація вхідних показників стану міського середовища  $x_1, \dots, x_n$ . На рис. 6.38 подано приклад фаззифікації обсягів емісії  $CO_2$ , виробленої приватним автотранспортом (табл. 6.40, змінна  $b_{29}$ ) з застосуванням відповідних терм-множин  $A_{b_{29}}^1$  – “мала кількість”,  $A_{b_{29}}^2$  – “середня кількість”,  $A_{b_{29}}^3$  – “велика кількість”. Кожна з терм-множин характеризується відповідною функцією належності:

$$\mu_{b_{29}}^1 = \begin{cases} 0, & 0 \leq b_{29} \leq 1 \\ \frac{1,5 - b_{29}}{0,5}, & 1 < b_{29} < 1,5 \\ 0, & 1,5 \leq b_{29} \end{cases}; \quad \mu_{b_{29}}^2 = \begin{cases} \frac{b_{29} - 1}{0,5}, & 1 \leq b_{29} < 1,5 \\ \frac{1,5 - b_{29}}{0,5}, & 1,5 \leq b_{29} < 2 \\ 0, & 2 \leq b_{29} \end{cases};$$

$$\mu_{b_{29}}^3 = \begin{cases} 0, & b_{29} \leq 1,5 \\ \frac{b_{29} - 1,5}{0,5}, & 1,5 \leq b_{29} < 2 \\ 1, & 2 \leq b_{29} \end{cases}.$$

Кожна функція належності  $\mu_{b_{29}}^1, \mu_{b_{29}}^2, \mu_{b_{29}}^3$  породжує нормальні випуклі нечіткі множини  $A_{b_{29}}^1, A_{b_{29}}^2, A_{b_{29}}^3$  з відповідними ядрами  $Core(A_{b_{29}}^1) = 1, Core(A_{b_{29}}^2) = 1,5$  та  $Core(A_{b_{29}}^3) = 2$ .

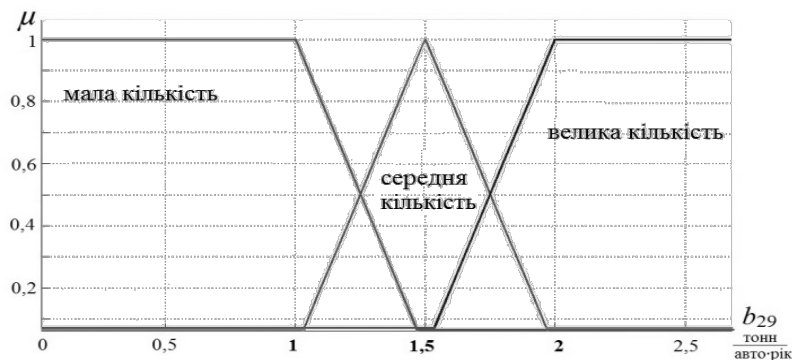


Рис. 6.38. Приклад фаззифікації обсягів емісії  $CO_2$ , які вироблено приватним автотранспортом  
Джерело: розрахунки автора

Математична модель оцінки ефективності MMC у вигляді продукційних правил TSK може бути подано у вигляді [12]:

$$R^{(i)}: \text{ IF } \bigcap_{k=1}^n (x_k \text{ IS } A_k^j) \text{ THEN } y_i = \sum_{k=1}^n \frac{i_k}{I} f_k^i(x_k),$$

де  $i$  – кількість TSK-правил ( $i = \overline{1, m/m = 3^n}$ );

$n$  – кількість антецедентів продукції;

$k$  – номер вхідної змінної;

$x_k$  – вхідна змінна ( $k = \overline{1, n}$ );

$A_k^j$  – нечітка множина, з відповідною функцією належності  $\mu_k^j$  ( $j \in \{1, 2, 3\}$ );

$i_k$  – коефіцієнт важливості вхідної змінної  $x_k$ ;  $I = \sum_{k=1}^n i_k$ .

Модель логічного висновку яка складається з  $m$  TSK-правил може бути подано у вигляді:

$$y_\alpha = \frac{\sum_{i=1}^m w_i y_i}{\sum_{i=1}^m w_i} = \frac{\sum_{i=1}^m w_i y_i \sum_{k=1}^n \frac{p_k}{P} f_k^j(x_k)}{\sum_{i=1}^m w_i},$$

де  $\alpha$  – проміжний рівень обчислювань після вихідних даних;

$w_i$  – вагові коефіцієнти, що активізують кожне TSK-правило, якщо рівень активізації правила визначається логічним множенням (мінімум) від  $\mu_{A_i^1}(x_1), \mu_{A_i^2}(x_2), \dots, \mu_{A_i^n}(x_n)$ :

$$w_i = \begin{cases} \min \{ \mu_{A_i^1}(x_1), \mu_{A_i^2}(x_2), \dots, \mu_{A_i^n}(x_n) \\ \text{або} \\ \mu_{A_i^1}(x_1), \mu_{A_i^2}(x_2), \dots, \mu_{A_i^n}(x_n) \end{cases}.$$

Відповідно з вимогою (6.31) до інтегральної оцінки ефективності ММС значення  $E$  має задовольняти умові:

$$0 < E < 100.$$

Для досягнення цієї мети для кожної вхідної змінної  $x_k$  визначено три кусочно-лінійні функції  $f_k^1, f_k^2, f_k^3$ .

При використанні кусово-лінійних функцій виду:

$$f(x) = a_0 + a_1 \cdot x_k, \quad x_{i-1} \leq x_k \leq x_i,$$

визначається інтервал в який попадає значення  $x_k$  та обчислюється значення  $f(x)$  використанням коефіцієнтів  $a_0, a_1$  для даного інтервалу [13].

Наприклад значення змінної  $b_{29}$  попадає в інтервал:

$$\text{Core}(A_{b_{29}}^1) \leq b_{29} \leq \text{Core}(A_{b_{29}}^2).$$

У такому випадку коефіцієнти  $a_0, a_1$  розраховуються відповідно:

$$a_0 = f(\text{Core}(A_{b_{29}}^1)) - a_1 \cdot \text{Core}(A_{b_{29}}^1);$$

$$a_1 = \frac{f(\text{Core}(A_{b_{29}}^2)) - f(\text{Core}(A_{b_{29}}^1))}{(\text{Core}(A_{b_{29}}^2)) - (\text{Core}(A_{b_{29}}^1))}.$$

На основі обчислених коефіцієнтів отримуємо значення кусово-лінійної функції для змінної  $b_{29}$ :

$$f_{b_{29}}^2(b_{29}) = (\text{Core}(A_{b_{29}}^1)) - \frac{f(\text{Core}(A_{b_{29}}^2)) - f(\text{Core}(A_{b_{29}}^1))}{(\text{Core}(A_{b_{29}}^2)) - f(\text{Core}(A_{b_{29}}^1))} \cdot (\text{Core}(A_{b_{29}}^1)) + \frac{f(\text{Core}(A_{b_{29}}^2)) - f(\text{Core}(A_{b_{29}}^1))}{(\text{Core}(A_{b_{29}}^2)) - f(\text{Core}(A_{b_{29}}^1))} \cdot b_{29}.$$

Кожна кусово-лінійна функція  $f_k^1$  визначає ступінь впливу змінної  $x_k$  на підсумкове значення інтегральної оцінки ефективності ММС –  $E$ .

На рис. 6.39 подано кусово-лінійні функції  $f_{b_{29}}^1, f_{b_{29}}^2, f_{b_{29}}^3$  які узгоджені з відповідними функціями належності  $\mu_{b_{29}}^j$ . Синя лінія графіку відповідає функції  $f_{b_{29}}^2$ , зелена – та червона лінія відповідає функції  $f_{b_{29}}^1$ , тобто найбільший влад в інтегральну оцінку вносить змінна  $b_{29}$  коли умова “IF  $b_{29}$  IS  $A_{b_{29}}^1$ ” приймає значення “істина”.

На останньому рівні ієрархії за умови рівності вагових коефіцієнтів вираз для підсумкової оцінки ефективності ММС має вигляд:

$$E_\Sigma = \sum_{i=1}^R v_i \cdot y_i,$$

де  $R$  – кількість досліджуваних підсистем, які впливають на підсумкову оцінку ефективності міського середовища.

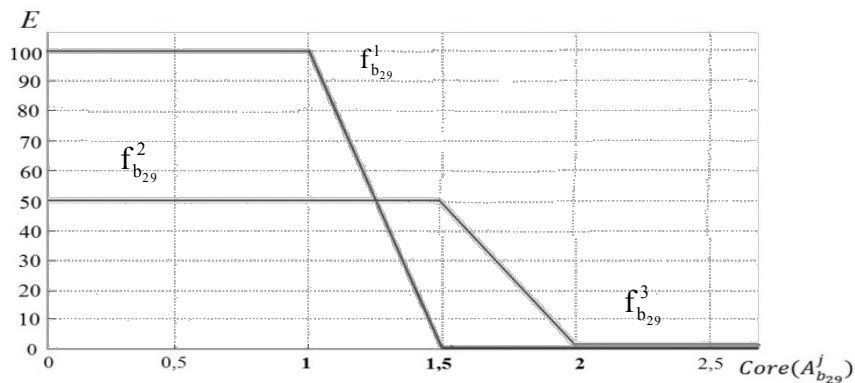


Рис. 6.39. Приклад кусочно-лінійних функцій  $f_{b_{29}}^j$ , які узгоджені з відповідними функціям належності  $\mu_{b_{29}}^j$ , які подано на рис. 6.38.

Джерело: авторська розробка

Фрагмент загальної структурної схеми обчислення оцінки ефективності ММС подано на рис. 6.40 (на прикладі транспортної підсистеми міського середовища).

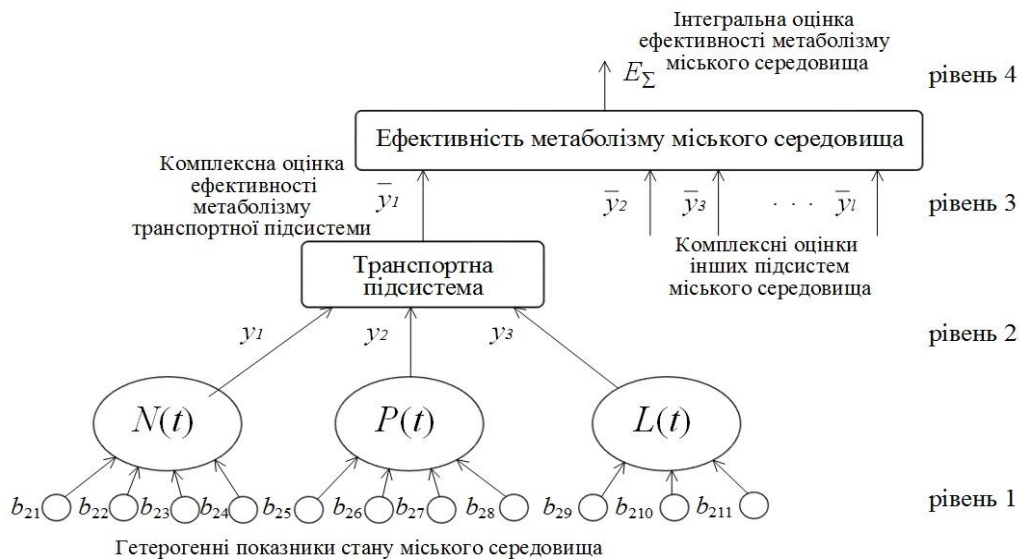


Рис. 6.40. Фрагмент ієрархічної структури отримання інтегральної оцінки ефективності метаболізму міського середовища (приклад транспортної підсистеми)

Джерело: авторська розробка

Елементи ієрархічної структури що подано на рис. 6.41 інтерпритується наступним чином: корінь дерева – значення інтегральної оцінки ефективності метаболізму міського середовища ( $E_{\Sigma}$ );  $\bar{y}_0, \bar{y}_1, \dots, \bar{y}_i$  – дуги графа, які виходять з нетермінальних вершин – оцінки ефективності для кожної досліджуваної підсистеми міського середовища;  $y_1, y_2, y_3$  дуги графа, які виходять з нетермінальних – укрупнені фактори що впливають на підсумкову оцінку ефективності ММС –  $N(t), L(t), P(t)$ ; термінальні вершини графу – гетерогенні показники стану міського середовища ( $b_{21}, b_{22}, \dots, b_{211}$ ).

Методику інтегральної оцінки ефективності ММС реалізованої в програмному середовищі MatLab<sup>TM</sup> (R2009a) з застосуванням Fuzzy Logic Toolbox<sup>TM</sup> в кількості 450 операторів [23].

Для підготовки вихідних даних були використані можливості ГІС для формування геопросторових моделей і тематичних шарів відповідно до показників, які подано у табл. 6.40. Таблиця налічує 35 базових параметрів, які характеризують стан трьох підсистем міського середовища. Вихідні дані для м.Полтава було сформовано на основі використання відкритих джерел: “Полтава 2030. Інтегрованої розвиток міста” (<http://www.2030.poltava.ua>), регіональні доповіді про стан навколишнього середовища в Полтавській області 2016, 2015 рр.

Таблиця 6.40

**Показники стану міського середовища на прикладі окремих підсистем (фрагмент)**

№ з/п	Показники стану міського середовища	Позначення	N (t)	P (t)	L (t)	Одиниці виміру
1. Показники підсистеми – містоутворююча база						
1.	1.1. Кількість населення	a <sub>11</sub>				тис. осіб
	...	...				
8.	1.8. Площа природних територій міста під особливою охороною	a <sub>18</sub>				м <sup>2</sup>
	...	...				
10.	1.10. Частка перероблювальних непромислових відходів	a <sub>110</sub>				%
	...	...				
14.	1.16. Обсяги емісії CO <sub>2</sub> , що одержані внаслідок складування твердих побутових відходів	a <sub>116</sub>				$\frac{\text{кг}}{\text{м}^2 \cdot \text{рік}}$
2. Показники транспортної підсистеми						
15.	2.1. Щільність вулично-дорожньої мережі	b <sub>21</sub>				$\frac{\text{км}}{\text{км}^2}$
	...	...				
19.	2.5. Інтенсивність транспортного потоку	b <sub>25</sub>				%
	...	...				
23.	2.9. Обсяги емісії CO <sub>2</sub> , які вироблено приватним автотранспортом	b <sub>29</sub>				$\frac{\text{тонн}}{\text{авто} \cdot \text{рік}}$
3. Показники соціально-економічної підсистеми						
26.	3.1. Загальна площа промислового призначення на території міста	c <sub>31</sub>				км <sup>2</sup>
	...	...				
29.	3.4. Валовий внутрішній продукт	c <sub>34</sub>				$\frac{\text{грн}}{\text{рік}}$
	...	...				
33.	3.8. Кількість промислових відходів	c <sub>38</sub>				$\frac{\text{тонн}}{\text{рік}}$

*Джерело: авторська розробка*

На рис. 6.43 відображено чутливість ефективності ММС середовища 10-ї функціональної зони міста Полтави в залежності від кількості енергії, яка витрачається на опалення будівель та споруд. Зменшення твердих побутових відходів, які формуються населенням в умовах щільної міської забудови на 0,1 т/осіб·рік забезпечує збільшену оцінку ефективності ММС на 5 %, в той час як зменшення кількості спожитої енергії на опалення будівель та споруд на 10 кВт·год./м<sup>2</sup> забезпечує збільшення ефективності ММС на 8 – 10 %. На рис. 6.44 показана поверхня ефективності ММС в залежності від кількості енергії спожитої на опалення споруд та вироблених твердих побутових відходів, яку можна інтерпретувати як свого роду ландшафт ефективності ММС 10-ї функціональної зони м. Полтави. У табл. 6.41 подано результати оцінювання проміжних показників (N(t), L(t), P(t)) для кожної з досліджуваних підсистем МС: містоутворюючої бази, транспортної підсистеми та соціально-економічної підсистеми.

Таблиця 6.41

**Інтегральні показники ефективності для 10-ї функціональної зони м. Полтава**

Підсистеми міського середовища	N (t)	P (t)	L (t)	Оцінка (ξ <sub>i</sub> )
Транспортна підсистема	44	15,5	23,5	26
Підсистема містоутворююча база	15	34	35	26,5
Соціально-економічна підсистема	24	70	68	53

*Джерело: розрахунки автора*

Необхідно відзначити, що майбутній напрямок вдосконалення методики пов'язано з тестуванням запропонованої моделі інтегральної оцінки ефективності ММС на прикладі інших міст України з порівнянням результатів оцінки з аналогічними результатами геоінформаційного моніторингу стану міст Європейського союзу виконаних в рамках програми SUME – Sustainable Urban Metabolism for Europe [9; 11].

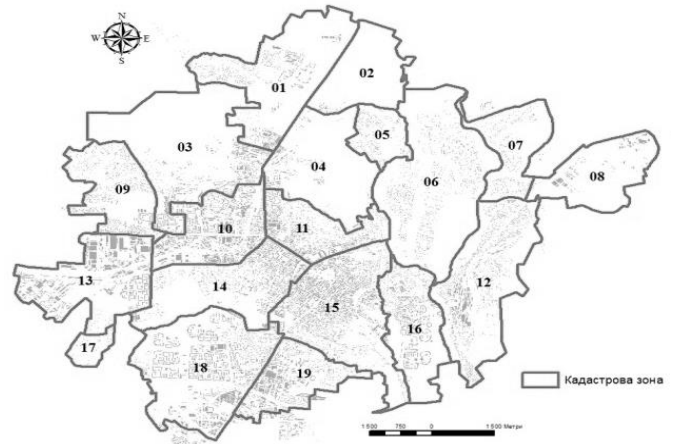
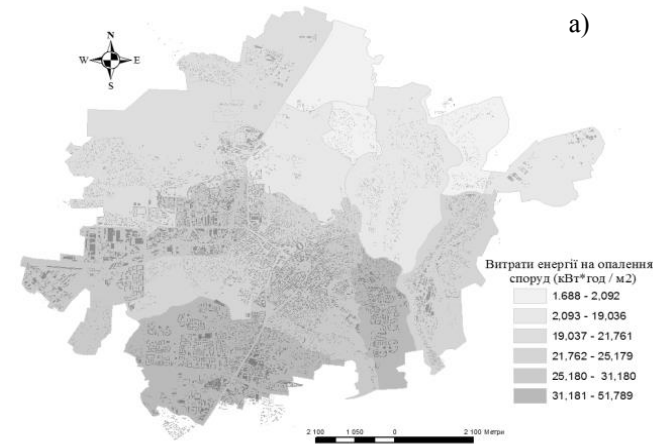


Рис. 6.42. Функціональне зонування території м. Полтава

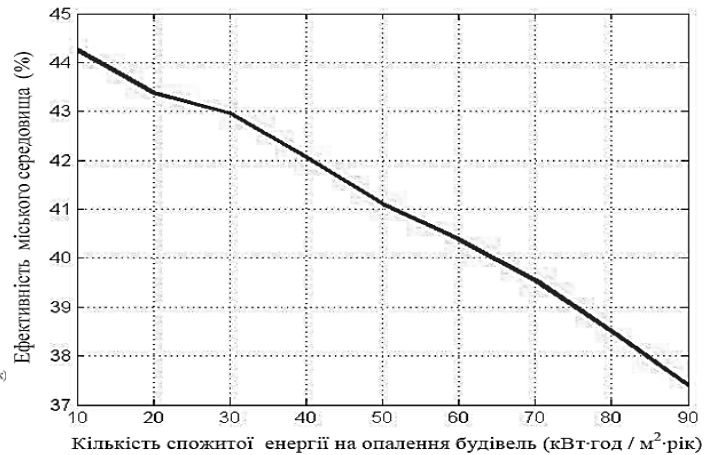
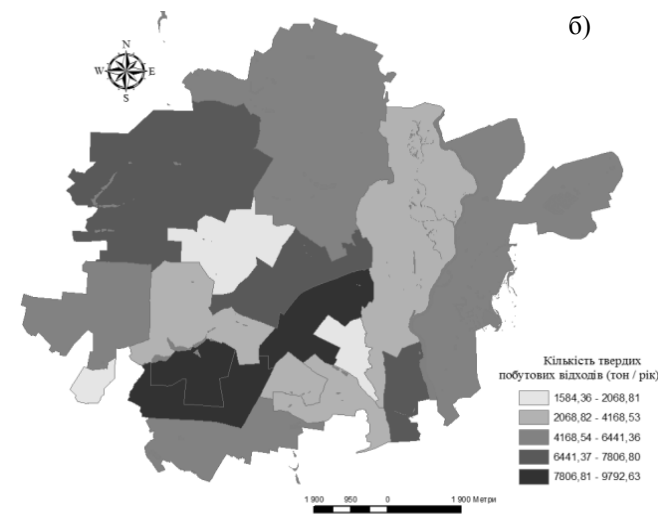


Рис. 6.43. Залежність ефективності метаболізму міського середовища 10-ї функціональної зони м. Полтава від кількості спожитої енергії на опалення споруд

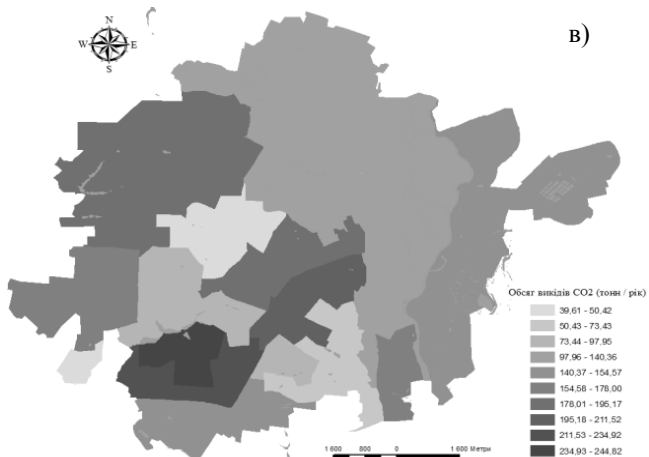


Рис. 6.41. Геоінформаційне моделювання стану міського середовища за показниками:

а) споживання енергії на опалення споруд (кВт·год./м<sup>2</sup>·рік);

б) кількість твердих побутових відходів (тонн/особа · рік);

в) обсяги емісії CO<sub>2</sub> внаслідок складування твердих побутових відходів (кг/м<sup>2</sup> рік)

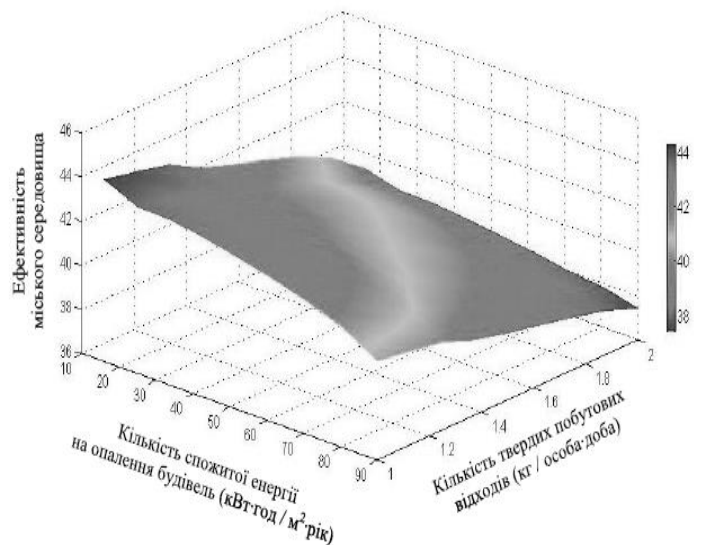


Рис. 6.44. Ландшафт ефективності міського середовища для 10-ї функціональної зони м. Полтава в залежності від кількості спожитої енергії на опалення будівель та вироблених твердих побутових відходів населенням міста

**6.16. Відходи вуглевидобутку та вуглезбагачення стан та технології використання**

© Кочешкова І. М.

*головний економіст відділу проблем перспективного розвитку паливно-енергетичного комплексу, Інститут економіки промисловості НАН України, м. Київ, Україна*

© Трушкіна Н. В.

*к.е.н., науковий співробітник відділу проблем перспективного розвитку паливно-енергетичного комплексу, Інститут економіки промисловості НАН України, м. Київ, Україна*

Функціонування вугільної промисловості негативно впливає на стан довкілля внаслідок значного забруднення надр, повітряного й водного басейнів, землі й ґрунту. За тривалий час проведення гірничих робіт в Україні накопичилася значна кількість породних відвалів і шламових відстійників, які не тільки погіршують природний ландшафт, але й виділяють отруйні випаровування (сірчані гази), пил, продукти горіння (породні відвали часто горять або тліють), під час дощів і паводків забруднюють водний басейн. Відстійники вимагають постійного нарощування дамб, при прориві дамб виникає загроза затоплення місцевості мулом і шлаками.

У той же час у відвалах і відстійниках міститься горюча маса, придатна для вилучення з отриманням кондиційного палива для теплоенергетичного і технологічного використання. Значні резерви ресурсозбереження зосереджені саме у відходах вуглевидобутку та вуглезбагачення. Як сировинний потенціал ці відходи можуть замінювати первинні джерела ресурсів і відігравати важливу роль у забезпеченні сталого розвитку старопромислових шахтарських регіонів шляхом зниження ресурсоспоживання, підвищення рівня сировинної та енергетичної незалежності території, створення додаткових робочих місць, залучення інвестиційних ресурсів.

Все це можливо здійснити за рахунок ефективного управління відходами вуглевидобутку та вуглезбагачення на основі впровадження екологічно чистих технологій їх використання.

У зв'язку з цим метою даного дослідження є узагальнення передового зарубіжного досвіду з впровадження технологій управління відходами вуглевидобутку та вуглезбагачення, статистичний аналіз динаміки екологічних показників функціонування вітчизняної добувної промисловості, визначення можливих напрямів використання відходів вугільної галузі України та доцільність розвитку екологічно чистих технологій у сучасних умовах господарювання.

Існує цілий ряд технологій управління відходами вуглевидобутку та вуглезбагачення, економічну обґрунтованість яких доведено зарубіжною практикою. Їх впровадження дозволяє вирішувати нагальні екологічні проблеми на основі утилізації золошлакових відходів, організації високорентабельного виробництва будівельних матеріалів, зменшення негативного впливу вугільного виробництва на довкілля.

Як показує передовий досвід розвинених країн світу, золошлаки є сировиною, яку широко використовують у будівництві, цементній промисловості, прокладанні та відновленні доріг, для укріплення виробок шахт тощо. Таке використання золошлаків сприяє економії природних ресурсів, зниженню собівартості готової продукції, зменшенню рівня забруднення навколишнього природного середовища. Наприклад, використання золошлаків при будівництві доріг дозволяє замінювати первинні природні ресурси (пісок і щебінь).

У світі зараз утилізують 70 – 95 % відходів від спалення вугілля, а в Нідерландах і Данії – 100 %. У Китаї показник переробки відходів від спалення вугілля складає вже 75 % і має тенденцію до зростання. Загалом у Китаї щорічно утворюється понад 500 млн. т золошлакових відходів від спалювання вугілля, тому питання їх утилізації є актуальним. В Індії, яка є одним з лідерів у впровадженні технологій переробки золошлакових відходів, широко використовують ці відходи в будівельній галузі. Завдяки цьому Індія посідає 2-ге місце після Китаю за валовими обсягами утилізації золошлакових відходів [1].

Накопичені в териконах і шламонакопичувачах відходи вуглевидобутку та вуглезбагачення містять ще значну кількість горючого матеріалу. Відходи спалювання вугілля використовують у Польщі в будівельній галузі, при будівництві доріг, як заміники піску [2].

В США протягом багатьох років питання управління золошлаковими відходами не регулювалося, а рівень їх утилізації був низьким. Через це накопичилися сотні мільйонів тон золошлаків, безпечно зберігання яких стало суттєвою проблемою. Все змінилося після найбільшої в світі катастрофи, пов'язаної з вугільними відходами, яка сталася на ТЕС Кінгстон у штаті Тенісі у 2008 р. Після цього Агенція з Охорони Довкілля розпочала вводити обмеження на зберігання золошлакових відходів та інші заходи з попередження подібних катастроф у майбутньому. З того часу під тиском регуляторних дій рівень переробки в США почав зростати.

Отже, у країнах світу реалізують такі основні напрями переробки золошлакових відходів: виробництво будівельних матеріалів (цемент, цегла, блоки); дорожнє будівництво (наповнювачі для дорожнього полотна); видобуток цінних металів (оксид алюмінію).



Особливий інтерес представляють технологічні схеми використання шахтних порід як закладних матеріалів без видачі на поверхню. Наприклад, у Великобританії на шахті “Парк Мілл” застосовано схему селективної (роздільної) виїмки та пневматичної закладки породи у вироблений простір цієї ж лави. На шахтах Німеччини, Великобританії, Польщі використовуються різні набори устаткування для залишення породи в шахті під час проведення підготовчих виробок. Залежно від способу проведення виробок порода залишається у породних смугах на кінцевих ділянках лав, у так званих “кишенях”, уздовж боків виробок. Наприклад, на вугільних шахтах застосовуються механізовані способи укладання породи: скреперна доставка, закачування сумішей, пневматична доставка, пристрої “Кем Пакер”, пристрої “Вебстер Пакер”, пристрої “Ріппінг Тейблз”.

Отже, техніка для залишення породи в шахті та ефективність її використання досить різноманітні. У Німеччині створено конструкцію високопродуктивного пневмозакладного агрегату з дробильною установкою, який дозволяє подавати в забій породу, що надходить з лави або від підривання порід при проведенні штреків. За допомогою цього агрегату можна переробити шахтні породи крупністю до 1500 мм. У Великобританії випробувано в умовах шахти “Уайтвак” комплекс устаткування для проведення підготовчих виробок з залишенням породи. На шахті “Кліпстоун” порода від проведення штреку після просіювання подавалася у вироблений простір лави пневмозакладним пристроєм.

Отже, узагальнення передового зарубіжного досвіду використання шахтних порід для закладки у вироблений простір показує, що застосування різноманітних технологічних схем з набором різного устаткування є досить ефективним і може впроваджуватися в діяльності невеликих вугільних шахт України.

За даними Державної служби статистики України, обсяги викидів забруднюючих речовин у процесі видобутку вугілля, нафти/газу скоротилися за 2010 – 2016 рр. на 63,7 %, у тому числі в розрахунку на одне підприємство – на 65 %. При цьому обсяги викидів забруднюючих речовин установками для спалювання (менше 50 МВт) – котлоагрегатами зменшилися на 69,1 %, а у розрахунку на одне підприємство – на 66,8 %.

Обсяги викидів забруднюючих речовин при здійсненні технологічних процесів в чорній металургії та вугільній промисловості знизилися в 2016 р. порівняно з 2010 р. на 31,8 %, а у розрахунку на одне підприємство, навпаки, збільшилися на 15,1 %. Обсяги викидів у процесі видобутку та первинної обробки твердого палива скоротилися на 46,2 % (з 558,8 до 300,5 тис. т) у результаті зниження викидів при підземній розробці родовищ на 45,9 % (з 495,9 до 268,4 тис. т). Слід відмітити, що обсяги викидів у процесі зберігання твердого палива, навпаки, зросли на 93,1 %, або з 1693 до 3269,1 т. При цьому обсяги викидів забруднюючих речовин у процесі видобутку та первинної обробки твердого палива в розрахунку на одне підприємство збільшилися на 9,8 % (з 1278,8 до 1404,2 т) унаслідок зростання обсягів викидів під час підземної розробки родовищ на 85,3 % (з 3620,3 до 6708,2 т) та зберігання твердого палива – на 290,7 % (з 5,4 до 21,1 т) (табл. 6.42).

*Таблиця 6.42*

**Динаміка обсягів викидів забруднюючих речовин в атмосферу від стаціонарних джерел забруднення у розрізі виробничих і технологічних процесів, технологічного устаткування, 2010 – 2016 рр.**

Роки	Усі виробничі та технологічні процеси		Видобуток вугілля, нафти/газу, компресори трубопроводів		Технологічні процеси в чорній металургії та вугільній промисловості		Видобуток та первинна обробка твердого палива	
	1	2	1	2	1	2	1	2
2010	4131632,4	443,7	50979,3	284,8	920415,5	2931,3	558838,0	1278,8
2011	4374640,7	502,9	66520,2	378,0	1007378,1	3218,5	514761,9	1183,4
2012	4335274,6	514,0	35903,5	206,3	901680,1	2995,6	613162,6	1409,6
2013	4295089,4	530,6	36532,4	229,8	889568,0	3078,1	649717,9	1604,2
2014	3190429,1	400,7	16193,0	95,8	638845,9	3147,0	370874,9	1709,1
2015	2857376,8	252,8	18303,9	101,1	599106,9	3025,8	334383,3	1623,2
2016	3078123,7	319,6	18520,8	99,6	627415,8	3373,2	300498,8	1404,2

Примітка: 1 – обсяги викидів, т; 2 – викинуто в середньому одним підприємством, т

Джерело: узагальнено авторами за даними [3, с. 42 – 47]

Як свідчить статистичний аналіз, обсяги викидів забруднюючих речовин і діоксиду вуглецю в атмосферу від стаціонарних джерел забруднення в сфері добувної промисловості та розроблення кар’єрів зростали за 2010 – 2013 рр., а починаючи з 2014 р. спостерігається тенденція їх скорочення. Це обумовлено нестабільною політичною ситуацією, воєнними діями на Сході України, зменшенням обсягів промислового виробництва тощо.

За 2010 – 2016 рр. обсяги викидів забруднюючих речовин в атмосферу від стаціонарних джерел забруднення в сфері добувної промисловості та розроблення кар’єрів знизилися на 45,4 %, у тому числі у сфері добування кам’яного та бурого вугілля – на 53,5 %. При цьому обсяги викидів діоксиду вуглецю в сфері добувної промисловості та розроблення кар’єрів збільшилися на 23 %, а у сфері добування

кам'яного та бурого вугілля, навпаки, скоротилися – на 82,6 %. Частка обсягів викидів забруднюючих речовин в атмосферу від стаціонарних джерел забруднення у сфері добування кам'яного та бурого вугілля зменшилася за 2010 – 2016 рр. на 6,8 %, або з 17,9 до 11,1 % загального обсягу викидів забруднюючих речовин в атмосфері за всіма видами економічної діяльності (табл. 6.43).

*Таблиця 6.43*

**Динаміка викидів забруднюючих речовин і діоксиду вуглецю в атмосферу від стаціонарних джерел забруднення у сфері добувної промисловості та розроблення кар'єрів, 2010 – 2016 рр.**

Роки	Добувна промисловість і розроблення кар'єрів		У тому числі у сфері добування кам'яного та бурого вугілля	
	обсяги викидів забруднюючих речовин, тис. т	обсяги викидів діоксиду вуглецю, тис. т	обсяги викидів забруднюючих речовин, тис. т	обсяги викидів діоксиду вуглецю, тис. т
2010	851,7	2421,6	738,1	2115,9
2011	856,2	3795,6	743,3	2340,1
2012	882,4	4296,8	772,9	2884,4
2013	921,2	4282,4	760,1	1057,6
2014	556,8	2753,5	424,7	529,2
2015	490,9	2519,4	373,7	384,0
2016	465,4	2978,2	342,9	367,4

*Джерело: узагальнено авторами за даними [3, с. 56]*

Як видно з рис. 6.45, обсяги утворення відходів від діяльності підприємств у сфері добувної промисловості та розроблення кар'єрів зросли за 2010 – 2013 рр. на 6,1 %, а за 2013 – 2016 рр. зменшилися на 36,2 %. У цілому за 2010 – 2016 рр. цей показник знизився на 32,3 %.

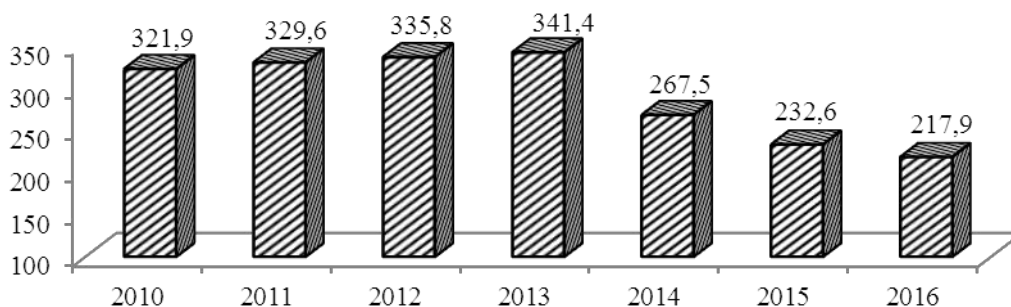


Рис. 6.45. Динаміка утворення відходів у сфері добувної промисловості та розроблення кар'єрів, 2010 – 2016 рр., млн. т

*Джерело: узагальнено авторами за даними [3, с. 111]*

Аналогічна ситуація спостерігається й у сфері добування кам'яного та бурого вугілля. Так, за даними Державної служби статистики України, обсяги утворення відходів від діяльності підприємств у цій сфері збільшилися за 2010 – 2013 рр. на 15,4 %, а починаючи з 2014 р. знизилися на 75,4 %. У цілому за 2010 – 2016 рр. цей показник зменшився на 71,6 % (рис. 6.46).

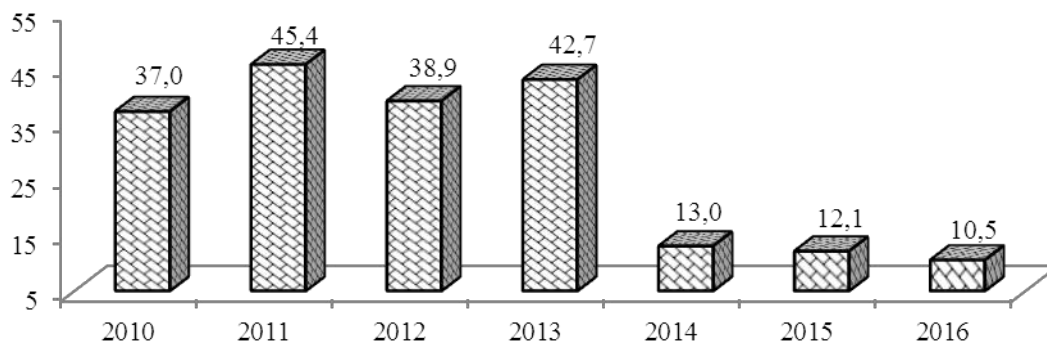


Рис. 6.46. Динаміка утворення відходів у сфері добування кам'яного та бурого вугілля, 2010 – 2016 рр., млн. т

*Джерело: узагальнено авторами за даними [3, с. 111]*

При цьому питома вага обсягів утворених відходів у сфері добувної промисловості та розроблення кар'єрів скоротилася за 2010 – 2016 рр. на 1,5 %, або з 76,8 до 75,3 % загального обсягу відходів, утворених від економічної діяльності, а у сфері добування кам'яного та бурого вугілля – на 5,2 %, або з 8,8 до 3,6 %. Частка обсягів утилізованих відходів у сфері добувної промисловості та розроблення кар'єрів становила в 2016 р. 65 % (55016 тис. т) загального обсягу відходів, утилізованих за всіма видами економічної діяльності, а у сфері добування кам'яного та бурого вугілля – 1,4 % (1198,2 тис. т). Питома вага видалених у спеціально відведені місця відходів у сфері добувної промисловості та розроблення кар'єрів становила в 2016 р. 86,7 % (136396,2 тис. т) загального обсягу відходів, видалених у спеціально відведені місця за всіма видами економічної діяльності, а у сфері добування кам'яного та бурого вугілля – 5,1 % (8073,2 тис. т).

Аналіз свідчить про скорочення обсягів інвестування охорони навколишнього природного середовища в сфері добувної промисловості та розроблення кар'єрів. Так, частка обсягів капітальних інвестицій на охорону навколишнього природного середовища в сфері добувної промисловості та розроблення кар'єрів знизилася за 2010 – 2016 рр. на 18 %, або з 21,8 до 3,8 % загальноукраїнського обсягу капітальних інвестицій на охорону навколишнього природного середовища, а у сфері добування кам'яного та бурого вугілля – на 3,6 %, або з 3,9 до 0,3 % (табл. 6.44).

Таблиця 6.44

**Динаміка обсягу капітальних інвестицій на охорону навколишнього природного середовища в сфері добувної промисловості та розроблення кар'єрів, 2010 – 2016 рр., млн. грн**

Роки	За всіма видами економічної діяльності	У тому числі у сфері добувної промисловості та розроблення кар'єрів	У сфері добування кам'яного та бурого вугілля
2010	2761,5	600,8	107,0
2011	6451,0	1346,3	239,1
2012	6589,3	693,2	135,0
2013	6038,8	516,9	30,1
2014	7959,9	663,3	21,0
2015	7675,6	544,0	13,9
2016	13390,5	503,6	40,8

Джерело: узагальнено авторами за даними [3, с. 209]

За 2010 – 2016 рр. питома вага обсягів поточних витрат на охорону навколишнього природного середовища в сфері добувної промисловості та розроблення кар'єрів збільшилася на 5,1 %, або з 19,5 до 24,6 % загального обсягу поточних витрат на охорону навколишнього природного середовища за всіма видами економічної діяльності, а у сфері добування кам'яного та бурого вугілля, навпаки, скоротилася на 2,7 %, або з 3,7 до 1 % (табл. 6.45).

Таблиця 6.45

**Динаміка обсягу поточних витрат на охорону навколишнього природного середовища в сфері добувної промисловості та розроблення кар'єрів, 2010 – 2016 рр., млн. грн**

Роки	За всіма видами економічної діяльності	У тому числі у сфері добувної промисловості та розроблення кар'єрів	У сфері добування кам'яного та бурого вугілля
2010	10366,6	2021,9	379,2
2011	12039,4	2774,3	426,5
2012	13924,7	3701,5	439,8
2013	14339,1	3421,4	330,7
2014	13965,7	4370,9	167,7
2015	16915,5	4678,1	182,3
2016	19098,2	4689,3	186,9

Джерело: узагальнено авторами за даними [3, с. 211]

З метою поліпшення екологічної ситуації в регіонах України та зростання рівня їх екологічної безпеки через зниження шкідливого впливу породних відвалів на навколишнє природне середовище необхідно використовувати різні технології. Це, перш за все, залишення породи в виробленому просторі шахти, рекультивация породних відвалів (їх гасіння та озеленення) та використання породи як будівельного матеріалу (рециклінг відходів).

Аналіз спеціальної літератури свідчить, що вітчизняні вчені приділяють значну увагу вирішенню проблем управління відходами вугледобутку та вуглезбагачення за рахунок впровадження ефективних технологій.

Наприклад, фахівцями ДП “УкрНДІвуглезбагачення” розроблено технологію й устаткування для переробки, збагачення і використання шламів, складованих у зовнішні відстійники вуглезбагачувальних фабрик, а також для вилучення вторинного палива з породних відвалів, териконів. Ними здійснено роботи із зниження шкідливого впливу збагачувального підприємства на навколишнє природне середовище при його експлуатації за такими напрямками: вдосконалення техніки і технології збагачення з метою мінімізації утворення відходів; замикання водно-шламових схем задля ліквідації мулонакопичувачів і зовнішніх шламових відстійників; комплексне використання продуктів збагачення з метою утилізації відходів; удосконалення технології уловлювання шкідливих викидів задля зниження їх впливу на атмосферу, фауну і флору.

За розрахунками ДП “УкрНДІвуглезбагачення”, з відходів вуглезбагачення, середня зольність яких становить 81 %, може бути вилучено 10–12 % вугільної фракції зольністю 10–15 %. При загальному обсязі породи 1335 тис. т вихід товарної продукції складатиме 158,5 тис. т. Термін переробки такого відвалу становить 5 років [4].

У роботі [5] зазначено, що вугільний шлам може перероблятися залежно від його подальшого застосування (водовугільне паливо, сировина для коксування, напівкоксування, тверді енергетичні палива тощо). При необхідності його можна збагатити методом масляної агломерації. Цей процес є технологічним циклом виробництва, що забезпечує отримання ряду продуктів (напівпродуктів), завдяки формі гранул яких забезпечується поліпшення їх фізико-механічних властивостей. Перспективним напрямом застосування вуглемасляного концентрату є отримання на його основі водовугільного палива.

На думку науковців Національного гірничого університету, дуже важливо раціонально та екологічно безпечно використовувати породні відвали. Породна маса відвалів шахт містить до 46 % вугілля, до 15 % глинозему і до 20 % оксидів кремнію і заліза [6]. При цьому для вирішення проблем підвищення рівня екологічної безпеки при складуванні відходів вугільної галузі, необхідним є впровадження ряду заходів, а саме:

- розробити методологічний підхід до визначення пріоритетності реалізації природоохоронних заходів на територіях складування та захоронення відходів вугледобувної промисловості задля зменшення загроз для здоров'я населення;

- розробити систему критеріїв для оцінки геохімічних процесів у техносистемах, що утворилися при складуванні та захороненні відходів, яка дозволить визначити рівні допустимого техногенного навантаження, яке не призводить до забруднення важкими металами таких об'єктів довкілля, як ґрунти, поверхневі та ґрунтові води тощо;

- визначити закономірності процесів трансформації геохімічних форм важких металів у техногенно-природних об'єктах, що дозволить удосконалити та розвинути положення концепції геохімічної безпеки територій вугледобувних регіонів;

- дослідити основні характеристики поглинальних властивостей природних матеріалів – осадових порід щодо важких металів;

- запропонувати нові способи зниження ризиків забруднення об'єктів навколишнього середовища важкими металами шляхом проведення технічної рекультиваци з використанням природних матеріалів;

- удосконалити технології рекультиваци відвалів вугледобувних підприємств для підтримання на територіях складування відходів стану визначеної екологічної безпеки;

- розробити електронні екологічні паспорти місць складування відходів, що в подальшому будуть застосовуватись у сфері обліку промислових відходів;

- розробити алгоритм прийняття рішень з диверсифікації технологій поводження з відвальними масивами [6].

Як показано у науковій публікації [7], застосування технології приготування та спалювання суспензійного водовугільного палива (ВВП) дозволяє з найменшими навантаженнями на навколишнє природне середовище використовувати накопичені відходи вуглезбагачення. При цьому забезпечуються високі техніко-економічні показники (зниження вартості одиниці теплової енергії в 1,5–2 рази) шляхом заміни рядового вугілля на ВВП на основі відходів вуглезбагачення. Екологічна ефективність досягається за рахунок утилізації золошлакових відходів і попередження техногенних провалів земної поверхні при підземній розробці родовищ корисних копалин.

У результаті дослідження й узагальнення досвіду експлуатації технологічних комплексів з використання відходів вуглезбагачення і вугільних шламів виявлено, що їх застосування на вуглепереробних підприємствах дозволить істотно скоротити потоки відходів вуглезбагачення в породні відвали і відстійники.

Т. Фурсова визнає необхідність застосування ефективних технологій спалювання палива, в процесі яких у котлах використовується низькосортне паливо, у тому числі відходів вуглезбагачення. У результаті цього генерується в 5–6 разів менше шкідливих речовин і значно підвищується

економічність. До таких технологій слід віднести спалювання палива в киплячому шарі при температурі 850 – 900°C. Основні переваги спалювання вугілля в киплячому шарі полягають у такому:

- забезпечується високий коефіцієнт теплопередачі;
- знижуються питомі капітальні витрати;
- низькі температури згорання призводять до зниження викидів оксидів азоту;
- можливість створення топкових камер з надмірним тиском відкриває подальші перспективи зменшення габаритів котельних установок;
- збільшуються можливості застосування невеликих установок для опалювальних цілей [8].

Одним із ключових завдань Енергетичної стратегії України до 2035 р. є диверсифікація джерел постачання енергоресурсів та заміщення споживання природного газу в енергетиці України. Додатковими проблемами поточного стану є дефіцит антрациту (значний обсяг антрациту приходиться на вугільні шахти, що розміщені на території Донбасу, яка не підконтрольна Україні) та значні тарифи на теплову енергію, що виробляється на ТЕЦ.

У зв'язку з цим науковці Інституту вугільних енерготехнологій НАН України пропонують для вирішення цих проблем реалізувати інноваційний проект з використання екологічно чистих технологій спалювання альтернативного палива (відходів вуглезбагачення) у циркулюючому киплячому шарі (ЦКШ), зокрема для котлоагрегатів малої та середньої потужності для ТЕЦ. До переваг проекту віднесено: можливість заміщення природного газу вітчизняним альтернативним паливом (відходами вуглезбагачення); можливість роботи котлоагрегату на відходах кам'яного вугілля газової групи (а не антрациту); забезпечення екологічних вимог ЄС у рамках Директиви 2010/75/ЄС; зменшення техногенного навантаження на шламо-накопичувальники; скорочення собівартості теплової енергії на ТЕЦ. Питомі капітальні витрати даного проекту становлять 1350 дол. США на встановлений кВт потужності [9].

Вченими Інституту економіки промисловості НАН України запропоновано технологію переробки високозольних відходів збагачення в електроенергію та будівельні матеріали. Це дозволить трансформувати характер мезоекономіки на основі появи в старопромислових регіонах України кластерів енергоіндустріальних парків і кластерів підприємств будівельної галузі. Крім цього, енергоблоки на відходах вуглезбагачення спроможні підвищити надійність функціонування паливно-енергетичного комплексу країни, сприяти оптимізації структури паливної бази, зміцнити енергетичну безпеку та посилити енергонезалежність національної економіки [10].

У роботі [11] запропоновано новий спосіб складування рідких відходів вуглезбагачення в породних відвалах, що дозволяє виключити їх самозгорання. Це пов'язано з тим, що порожнечі між шматками породи заповнені мулом. Після висихання мул цементує шматки породи, що не дає відвалу деформуватися – він стає єдиною ущільненою масою.

Науковцями розроблено схему отримання альтернативного рідкого палива на основі вторинних паливних енергоносіїв (відходів вуглезбагачення, некондиційного за зольністю або вмістом сірки вугілля, технічного пірокарбону, нафтових шламів, продуктів переробки полімерних відходів). Використання цього палива має такі переваги:

- екологічні – раціональна утилізація небезпечних відходів гірничодобувних і нафтопереробних підприємств, вторинних паливних енергоресурсів; екологічна безпека на всіх стадіях виробництва, транспортування та застосування; скорочення викидів забруднюючих речовин в атмосферу; скорочення масштабів забруднення гідросфери та літосфери;
- економічні – витрати на модернізацію обладнання окупаються, згідно з проведеними розрахунками, за 1,5 – 2 роки [12].

Розповсюдженням напрямом використання порожньої породи є виробництво будівельних матеріалів. Промисловість будівельних матеріалів України здатна широко й ефективно використовувати великотоннажні шахтні горілі породи. Горіла порода задовольняє вимогам хімічного складу, фізичних властивостей, радіаційно-гігієнічної оцінки та іншим показникам якості сировини, здатної на 30 – 40 % замінити природну сировину для будівництва [13 – 15].

Отже, узагальнюючи різні підходи вчених до технологій використання відходів вугільної галузі, доцільно відмітити існуючі можливості впровадження технології захоронення гірничої породи (відходів вуглевидобутку) у відпрацьованих шахтних виробках. Ця технологія раніше застосовувалася на шахті “Курахівська” ДП “Селидіввугілля” (недовго її використовували й на ПАТ “Шахтоуправління Покровське”). Технологія полягає в тому, що порода під тиском повітря дробилася на дрібні фракції та подавалася у відпрацьований простір. Тобто відпрацьований простір повністю заповнюється гірничою масою або робляться “бутові смуги” (у разі незначної кількості породи).

Основний недолік цієї технології полягає у високому рівні запиленості. До переваг віднесено такі:

- ґрунт не дає просідання;
- гірнича порода залишається вся в шахті, тим самим не утворюються терикони, тобто зменшується негативний вплив на навколишнє природне середовище.

Технологія захоронення відходів вуглевидобутку у відпрацьованих шахтних виробках економічно вигідна, якщо робити вручну “бутові смуги”, оскільки в цьому випадку немає високої запиленості. Отже, ця технологія підходить для шахт, обсяг видобутку вугілля яких становить 5 – 6 тис. т на місяць.

Для великих вугледобувних підприємств ця технологія нерентабельна і при цьому дуже високий рівень запиленості (оскільки застосовують техніку). У зв'язку з цим на ПАТ “Шахтоуправління Покровське” цю технологію перестали використовувати.

У результаті дослідження вивчено та узагальнено передовий зарубіжний досвід з впровадження технологій управління відходами вуглевидобутку та вуглезбагачення. Проаналізовано динаміку показників функціонування вітчизняної добувної промисловості та розроблення кар'єрів (у тому числі сфери добування кам'яного та бурого вугілля) з урахуванням екологічної складової. Досліджено можливість і доцільність впровадження екологічно чистих технологій використання відходів вугільної галузі України.

Своєчасне запровадження ефективних природоохоронних технологій на вугледобувних підприємствах України дозволить попередити забруднення ґрунтів, поверхневих і підземних вод та атмосферного повітря на територіях розміщення відходів. А це, в свою чергу, дозволить підвищити енергоефективність, енергетичну та екологічну безпеку старопромислових шахтарських регіонів у контексті Енергетичної стратегії та регіональної екологічної політики України.

## ПІСЛЯМОВА

Результативність процесів трансформації національної економіки України практично в усіх сферах залежить від ступеня розвитку енергетики. В умовах перманентної дестабілізації суспільно-політичних процесів, критичного погіршення екологічної ситуації вона також здійснює прямий вплив на складові безпеки держави.

Авторами колективної монографії здійснено науковий пошук теоретико-методологічного характеру, а також проведено ґрунтовні дослідження для опрацювання практичних рекомендацій з підвищення енергоефективності різних галузей. Наразі енергетична система в Україні базується на традиційній моделі споживання невідновлювальних вуглеводневих ресурсів, що характеризується суттєво вищим, ніж у розвинених країнах, рівнем енергоемності ВВП, значном зносом основних засобів, та вкрай неефективним менеджментом і щодо державних, і приватних інституцій на фоні низького рівня координації між органами виконавчої влади, підприємствами, домогосподарствами, експертними організаціями та донорами в галузі енергозбереження.

Висвітлено нагальну потребу подальшого розвитку енергоринку України з одночасним збільшенням обсягів виробництва електроенергії. Також вказується на тривалу дію несприятливих чинників, серед яких домінує суттєва імпортозалежність за домінуючим ресурсом та замала частка відновлювальних джерел у загальному постачанні первинної енергії. Безумовно, зараз основою вітчизняної електроенергетики є атомні електростанції. Вироблена ними електроенергія є значно дешевшою, а також дає можливість масового застосування теплових насосів, що вирішує проблему побутового теплопостачання.

Проте, необхідно здійснювати пошук напрямів зниження навантаження на навколишнє природне середовище, що уможливорюється шляхом розвитку альтернативних постачальників енергоносіїв. Без дієвих реформ в енергетиці унеможливується довгостроковий і стабільний розвиток України. До можливих драйверів такого росту автори монографії відносять місцеві ініціативи “знизу догори”, створення та впровадження регіональних енергетичних кластерів, інструменти муніципального енергетичного планування з боку територіальних громад, що створить умови для поліпшення інвестиційного клімату, матиме сприятливий вплив на соціальну та економічну системи. Позитивну роль у вказаному аспекті відіграватиме подолання проблем розвитку ринку консалтингових послуг у сфері енергоефективності, впровадження в діяльності суб’єктів господарювання енергетичного аудиту.

Перспективним напрямом розвитку вітчизняної газодобувної сфери є застосування способів досліджень газових чи газоконденсатних свердловин для стаціонарної чи нестаціонарної фільтрації продукції до вибою свердловин, що наразі стримується неінформованістю практиків та відсутністю нормативних документів, які б регламентували цей процес.

У виробництві первинної енергії частка відновлювальних джерел неухильно зростатиме. Зараз серед таких джерел економічно ефективнішими напрямами є використання енергії води (у першу чергу малих ГЕС), біомаси та енергії вітру. Альтернативою викопному паливу може стати: виробництво пелетів з широкою сферою застосування, очищення стічних вод солодових заводів з отриманням водню в біопаливному елементі, застосування оптимальних параметрів конструкцій робочих органів у виробничих процесах, використання теплоенергетики вторинних енергоресурсів – низькопотенційної енергії відпрацьованих димових газів ТЕЦ.

Досягнення збалансованого розвитку всіх компонентів регіонального енергетичного комплексу, зазвичай, вимагає значних інвестицій. У даному контексті наголошено на необхідності грантової підтримки з боку держави, та розвитку національного ринку біогазу. В якості конкретного прикладу запропоновано проект біоенергетичного селища.

Крім пошуку нових джерел енергії, слід впроваджувати більш ощадні системи енергоспоживання в усіх сферах. Так, одним з шляхів оптимізації використання наявних енергоресурсів є впровадження систем живлення двигунів внутрішнього згорання за газодизельним циклом. Підвищення енергоефективності багатоквартирних будинків та зниження вартості комунальних послуг є здійснення заходів з їх термомодернізації та модернізації систем опалення. Модернізація виробничих ліній у сфері металообробки дозволяє не тільки підвищити якість продукції, що випускається, але і підвищити обсяги виробництва. Також встановлено, що суттєва оптимізація технологічної системи виробництва цукру досягається шляхом попередньо проведеної термoeкономічної оцінки операцій.

На бізі АТ “Мотор Січ” (м. Запоріжжя) практично доведено доцільність використання вторинної сировини на основі енергоощадної технології термічної обробки з урахуванням концентрації шкідливих домішок в алюмінієвих сплавах.

З метою покращення конкурентоспроможності вітчизняних виробників наголошено на необхідності розроблення та впровадження механізмів державної підтримки процесів підвищення енергетичної ефективності. Стимулювання вказаних процесів є запорукою активізації інвестицій, стратегічної спрямованості на комплексну технічну модернізацію та технологічне переоснащення реального сектору економіки.

Сільське господарство є однією з найенергоємніших сфер економіки, у першу чергу унаслідок просторової розосередженості виробничих одиниць. Сталий розвиток (взаємоузгодженості економічних, соціальних цілей та екологічних вимог) галузі досягатиметься на засадах органічного виробництва. Особливості біологічних організмів як виробничих ресурсів аграрних підприємств вимагає застосування енергоощадних технологій вирощування продукції рослинництва з чіткою послідовністю проведення агротехнологічних заходів. Ефективність галузі неможлива без компенсації використаної енергії ґрунту шляхом її відновлення у вигляді доступних до споживання рослинами добрив, мікро- та макроелементів.

Зменшенню енергоємності продукції у тваринництві, а також поліпшенню її якості може сприяти нормування витрат енергоресурсів із встановленням граничної норми витрат у видовому розрізі. Використання вторинних ресурсів тваринництва, насамперед – гнойових відходів, впровадження інноваційних енергозберігаючих та ресурсозберігаючих технологій підвищує ефективність виробництва, сприяє енергетичній незалежності та поліпшенню екології оточуючого середовища.

Значний потенціал біомаси в Україні, зокрема відходів сільського господарства, має сприяти розвитку сектору виробництва енергії з біомаси та заміщенню викопного палива.

Авторами колективної монографії запропоновано застосування інструментарію енергетичного аналізу в різних сферах. Встановлено, що в науці та практиці використовують два теоретико-методичні підходи до оцінки ефективності виробництва продукції: економічний (вартісний) та енергетичний (біоенергетичний). Перша ґрунтується на ринкових засадах визначення ефективності виробництва у процесі відтворення сукупності виробничих ресурсів, а також враховує спожиту у виробничому процесі частку ресурсів. Друга характеризує витрати енергетичних ресурсів, дозволяє оцінити технологічні процеси виробництва продукції з огляду на енергетичні витрати.

Окремої уваги заслуговує концепція взаємодії поновлюваної та непоновлюваної видів енергії. Основними чинниками ефективного енергоспоживання в процесі виробництва продукції є: біокліматичні умови, рівень розвитку технологій, технічне забезпечення, організаційно-економічні чинники. Економічна та енергетична оцінка витрат і результатів виробництва сільськогосподарської продукції дозволяє порівняти та оцінити різні технології виробництва, обрати оптимальний варіант раціонального використання природних і матеріальних ресурсів, максимального виробництва продукції на основі дотримання принципів ресурсозбереження.

Інструментарій енергетичного аналізу потенціально придатний до застосування у всіх сферах діяльності. За умови вирішення проблем вимірювання енергетичних витрат та надходжень, енергетичний аналіз може слугувати альтернативою вартісної оцінки активів у матеріальній формі.

Доведено необхідність ведення бухгалтерського обліку екологічних витрат промислових підприємств. Крім того, вимоги українського екологічного законодавства в сфері енергетичного використання біомаси є близькими до європейських, тому для їх забезпечення необхідно використовувати спеціальні технології та обладнання.

Динамічні адаптивні моделі, що реалізують техноценологічний метод та проведення рангового аналізу, уможливають відображення процесу функціонування об'єктів техноценозу в майбутньому з урахуванням можливих змін технології, інфраструктури, а також використання ресурсів.

Перспективним є застосування методу перебудови математичної моделі об'єкта дослідження з використанням планування математичного експерименту стосовно до технологічного процесу. Так, стосовно очищення зерна це дозволило вдосконалити метод нормування витрат поточкових технологічних ліній агрегату ЗАВ-20. На прикладі русел комбінованого очисника вороху цукрових буряків розглянуто вплив оптимізації параметрів робочих органів на енергетичні витрати.

Насамкінець, слід додати, що ефективність заходів з енергозбереження неможливе без фінансового забезпечення, економічного стимулювання, інституційної підтримки та законодавчо-нормативного забезпечення.



**СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ****Список використаних джерел до розділу 1.****Підрозділ 1.1.**

1. Енергетична стратегія України на період до 2035 року “Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність”. URL: / <https://zakon0.rada.gov.ua/laws/show/605-2017-p>.
2. С. Майстро. Державна політика енергоефективності та енергозбереження як необхідна передумова забезпечення енергетичної безпеки України / С. Майстро, М. Більовський // Ефективність державного управління. – 2018. ВИП. 1 (54). Ч. 1. – С. 80 – 87.
3. Манжул Ірина. Американський досвід забезпечення енергетичної безпеки / Ірина Манжул // Підприємництво, господарство і право. – 2015. – № 8. – С. 37 – 41.
4. Пашечко О. А. Особливості реформування енергетики в контексті соціально-економічного стимулювання енергозбереження та міжнародного досвіду / О. А. Пашечко // Наукові записки Національного університету “Острозька академія”. – 2013. – Вип. 24. – С. 39 – 43. – (Серія “Економіка”).
5. Сурменелян О. Р. Світовий досвід управління енергозбереженням / О. Р. Сурменелян // Економіка та управління підприємствами машинобудівної галузі. – 2013. – № 2. – С. 96 – 108.
6. European policies on climate and energy towards 2020, 2030 and 2050 / Policy Department for Economic, Scientific and Quality of Life Policies Directorate-General for Internal Policies Author: Georgios Amanatidis URL: / [http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2019/631047/IPOL\\_BRI\(2019\)631047\\_EN.pdf](http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2019/631047/IPOL_BRI(2019)631047_EN.pdf).
7. International Renewable Energy Agency (IRENA) / Paris Agreement. United Nations Treaty Collection. 8 July (2016). / URL: <http://www.irena.org>.
8. The 2018 International Energy Efficiency Scorecard URL: / <https://aceee.org/research-report/i1801>.
9. US Energy Saving Program : State Information system in the field of energy saving and enhancement energy efficiency / URL: <http://gisee.ru/law/abroad/47008>.

**Підрозділ 1.2.**

1. Бобров Є. А. Енергетична безпека держави: Монографія. – К.: Університет економіки та права “КРОК”, 2013. – 308 с.
2. Відновлювана енергетика в Україні: поточний стан, пріоритети та проблеми розвитку [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://energysecurityplan.tilda>.
3. Денчев К. Мировая энергетическая безопасность: история и перспективы / К. Денчев // Новая и новейшая история. – 2010. – № 2. – С. 34 – 77.
4. Дудченко О. Альтернативні джерела енергоресурсів в Українському Причорномор’ї: Аналітична записка // [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.niss.od.ua/p/285.doc>.
5. Економічна енциклопедія: у 3 т. / Редкол.: С. В. Мочерний (відп. ред.) [та ін.]. – К.: Видав. центр “Академія”, 2000. – Т. 1: А-К. – 503 с.
6. Ефективність використання енергетичних ресурсів та її детермінанти [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://energysecurityplan.tilda>.
7. Земляний М. Г. До оцінки рівня енергетичної безпеки. Концептуальні підходи / М. Г. Земляний // Стратегічна панорама. – 2009. – № 2. – С. 56 – 64.
8. Ковалко М. П. Розвинута енергетика – основа національної безпеки України. Аналіз тенденцій і можливостей / М. П. Ковалко, О. М. Ковалко. – К.: ТОВ “Друкарня “Бізнесполіграф”, 2009. – 104 с.
9. Лайко В. В. Енергетична безпека в контексті економічної безпеки [Електронний ресурс] / В. В. Лайко // Ефективна економіка. – 2013. – № 1. – Режим доступу: <http://www.economy.nayka.com.ua>.
10. Манжул І. Американський досвід забезпечення енергетичної безпеки / І. Манжул // Адміністративне право. – 2015. – № 8. – С. 37 – 41.
11. Матвеева Д. В. Энергетическая безопасность Китая в начале XXI в. / Д. В. Матвеева Вестник Томского государственного университета. – 2011. – № 350. – С.97 – 99.
12. Микитенко В. В. На чому базується енергетична безпека держави / В. В. Микитенко // Вісник НАН України. – 2005. – № 3. – С. 41 – 47.
13. Міжнародне енергетичне агентство [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.iea.org/subjectqueries/keyresult.asp>.
14. Нова Енергетична стратегія України до 2035 року: “Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність”: Розпорядження від 18 серпня 2017 р. № 605-р [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.kmu.gov.ua/ua/npras/250250456>.
15. Прокіп А. В. Гарантування енергетичної безпеки: минуле, сьогодення, майбутнє: [монографія] / А. В. Прокіп. – Львів: ЗУКЦ, 2011. – 154 с.
16. Сайт Державної служби статистики України [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.ukrstat.gov.ua>.

17. Сайт Української асоціації відновлюваної енергетики [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://uare.com.ua/ru/dinamika-razvitiya-sektora-vozobnovlyaemoj-energetiki.html>.
18. Сайт світової енергетичної ради [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://www.worldenergy.org/document/ethiopia\\_june\\_30\\_v\\_gbeddy\\_security.pdf](http://www.worldenergy.org/document/ethiopia_june_30_v_gbeddy_security.pdf).
19. Суходоля О. М. Енергоефективність економіки у контексті національної безпеки: методологія дослідження та механізми реалізації: [монографія] / О. М. Суходоля. – К. : НАДУ, 2006. – 400 с.
20. Хлопов О. А. Энергетическая безопасность США: новые проблемы и вызовы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [uroasia-science.ru/politicheskie-nauki/energeticheskaya-bezopasnost-ssha-novye-problemy-i-vyzovy](http://uroasia-science.ru/politicheskie-nauki/energeticheskaya-bezopasnost-ssha-novye-problemy-i-vyzovy).
21. Шевцов А. І. Енергетична безпека України: стратегія та механізми забезпечення / А. І. Шевцов, М. Г. Земляний, А. З. Дорошкевич / За ред. А. І. Шевцова. – Дніпропетровськ: Пороги, 2002. – 264 с.
22. Energy strategy Austria [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [www.en.bmwfw.gv.at/Energy/Energystrategyandpolicy/Doecuments/Energy](http://www.en.bmwfw.gv.at/Energy/Energystrategyandpolicy/Doecuments/Energy).
23. Lisa Schmid. Germany's Energy Transition: a Blueprint for European Energy Security? [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://us.boell.org/sites/default/files/sehmid\\_-\\_energy\\_security.pdf](http://us.boell.org/sites/default/files/sehmid_-_energy_security.pdf).
24. Nuclear Energy in France [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://ambafrance-us.org/spip.php?article949>.
25. Time to take our foot the gas? Michael Bradshaw [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://www.foe.co.uk/sites/default/files/downloads/time\\_to\\_take\\_our\\_foot\\_off.pdf](http://www.foe.co.uk/sites/default/files/downloads/time_to_take_our_foot_off.pdf).

### **Підрозділ 1.3.**

1. Ніколенко Ю. В. Основи економічної теорії: Підручник / За ред. Ю. В. Ніколенка. – 3-тє вид. – Київ: ЦУЛ, 2003. – 540 с.
2. Мочерний С. В. Економічна теорія: Підручник / С. В. Мочерний, М. В. Довбенко. – К.: Видавничий центр “Академія”, 2004. – 856 с.
3. Підгорний А. З., Самотоєнкова О. В. Статистика ринків: Навчальний посібник. – Одеса: Атлант, 2015. – 408 с.
4. Офіційний портал Верховної Ради України. Законодавство України [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws>.
5. Офіційний сайт Міністерства енергетики та вугільної промисловості України [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/uk/publish/article>.
6. Коломоєць Т. О. Адаптація інформаційного законодавства України до вимог ЄС як складова сучасного вітчизняного правотворчого процесу: монографія / Т. О. Коломоєць, С. В. Грищак; М-во освіти і науки України, Запор. Нац. гірн. ун-т. – Д.: НГУ, 2013. – 164 с.
7. Офіційний сайт Європейського Союзу [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://europa.eu>.
8. Уряд впроваджує правові стандарти ЄС у сфері екодизайну. Урядовий портал. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://www.kmu.gov.ua/control/uk/publish/printable\\_article?art\\_id=248165599](http://www.kmu.gov.ua/control/uk/publish/printable_article?art_id=248165599).
9. “Енергоефективність у промисловості. АПК та ЖКГ”: звіт [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://municipalenergy.org.ua>.
10. Аналіз тарифоутворення у секторі централізованого тепlopостачання країн Європейського Союзу [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [www.uabio.org/activity/uabio-analytics](http://www.uabio.org/activity/uabio-analytics).

### **Підрозділ 1.4.**

1. Закон України “Про засади функціонування ринку електроенергії України” зі змінами № 1540-VIII від 22.09.2016 р. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/663-18>.
2. Закон України “Про ринок електричної енергії” від 13.04.2017 р. № 2019-VIII. – Режим доступу: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/2019-19/page9>.
3. Кудияров С. Всегда есть другой путь / С. Кудияров // Эксперт. – № 27. – 2011. – С. 32 – 34.
4. Оцінка впливу Угоди про асоціацію між Україною та ЄС на економіку України. Наукова доповідь. За редакцією акад. НАН України Гейця В. М. – Київ – 2014. – 102 с.
5. Річний звіт ДП “Національна енергетична компанія “Укренерго” за 2013 р., С. 63. – Режим доступу: [https://ua.energy/wp-content/uploads/2016/12/Annual2013\\_Ukrenerg.pdf](https://ua.energy/wp-content/uploads/2016/12/Annual2013_Ukrenerg.pdf).
6. Третий энергетический пакет: борьба между Россией и ЕС. Чесловас Ишкаускас. Geopolitika. – Режим доступу: <http://www.geopolitika.lt/?artc=4555>.
7. Угода про партнерство і співробітництво між Україною і Європейськими Співтовариствами та їх державами-членами [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://zakon0.rada.gov.ua/laws/show/984\\_011](http://zakon0.rada.gov.ua/laws/show/984_011).
8. National Report of the Energy Regulatory Office in Poland to the European Commission in 2010. – Режим доступу: <http://www.energy-regulators.eu/portal/page/portal>.
9. Soliński I. Prognosis of development of renewable energetics in Poland and European Union / I. Soliński, B. Soliński, R. Ranzos // Górnictwo i Geoinżynieria, Wyd-wo AGH, Kraków 2005, т. 29, з. 4. – с. 157 – 165.

### **Підрозділ 1.5.**

1. Вернадский В. И. Избранные сочинения. / В. И. Вернадский. – Т. 1. – Москва: Издательство АН СССР, 1954. – 696 с.
2. Вернадский В. И. Научная мысль как планетарное явление. / В. И. Вернадский; отв. ред. А. Л. Яншин. – Москва: Наука, 1991. – 270 с.

3. Гавриш В. И. Управление инвестиционными проектами биогазовых комплексов / В. И. Гавриш, В. И. Перебийнос. – Saarbrücken: LAP Lambert Academic Publishing, 2015. – 69 p.
4. Гришко В. В. Енергозбереження в сільському господарстві (економіка, організація, управління) / В. В. Гришко, В. І. Перебийніс, В. М. Рабштина. – Полтава: Полтава, 1996. – 280 с.
5. Злупко С. Засновник теорії енергетичної економіки (До 150-річчя від дня народження С. А. Подолинського) / С. Злупко // Український альманах. – Варшава, 2000. – С. 272 – 277.
6. Кузнецов П. Г. Его действительное открытие (Предисловие к работе С. Подолинского “Труд человека и его отношение к распределению энергии”) / П. Г. Кузнецов // Восток. – 2003. – Вып. № 11/12. Режим доступа: [http://www.situation.ru/app/j\\_art\\_240.htm](http://www.situation.ru/app/j_art_240.htm).
7. Кузнецов О. Л. Устойчивое развитие: научные основы проектирования в системе природа – общество – человек. / О. Л. Кузнецов, Б. Е. Большаков. – Санкт-Петербург – Москва – Дубна: Гуманистика, 2002. – 616 с.
8. Максименко С. Д. Людина, яка заглянула в науку ХХІ ст. / С. Д. Максименко // Філософська та соціологічна думка. – 1995. – № 3 – 4. – С. 3 – 15.
9. Перебийніс В. І. Енергетичний менеджмент: Навчальний посібник / В. І. Перебийніс. – Полтава: Інтерграфіка, 2004. – 232 с.
10. Перебийніс В. І. Енергетичний фактор забезпечення конкурентоспроможності продукції: монографія / В. І. Перебийніс, О. В. Федірець. – Полтава: ПУЕТ, 2011. – 190 с.
11. Подолинський Сергій. Вибрані твори. / С. Подолинський; упорядник Роман Сербин. – Монреаль: Українське історичне товариство, 1990. – 208 с.
12. Подолинський С. А. Вибрані твори. / С. А. Подолинський; упорядник Л. Я. Корнійчук. – Київ: КНЕУ, 2000. – 328 с.
13. Подолинський С. А. Труд человека и его отношение к распределению энергии. / С. А. Подолинський // Слово. – 1880. – № 4 – 5. – С. 135 – 211.
14. Подолинський С. А. Труд человека и его отношение к распределению энергии. / С. А. Подолинський; предисл. П. Г. Кузнецова. – Москва: Ноосфера, 1991. – 82 с.
15. Руденко М. Енергія прогресу (нарис з фізичної економії). / М. Руденко – Київ: Молодь, 1998. – 528 с.
16. Шевчук В. Сергій Подолинський і цивілізаційна перспектива. / В. Шевчук // Економіст. – 2005. – № 5. – С. 13 – 16.
17. Шевчук В. Українська наукова школа фізичної економії. / В. Шевчук // Економічна енциклопедія: У трьох томах. Т. 3. – Київ: Видавничий центр “Академія”, 2002. – С. 722 – 725.
18. Ivanov S., Perebyynis V., Havrish V., Perebyynis U. Low-carbon economy: modern view of energy concept of Serhiy Podolynsky // Economic transformation in Ukraine: comparative analysis and European. – Warsaw: Consilium Sp.zo.o., 2017, p. 79 – 91.
19. Kalinichenko A., Havrish V., Perebyynis V. Evaluation of biogas production and usage potential // Ecological Chemistry and Engineering S, 2016, Vol. 23, Is. 3, p. 383 – 400.
20. Kalinichenko A., Havrish V., Perebyynis V. Sensitivity analysis in investment project of biogas plant // Applied ecology and environmental research, 2017, Vol. 15 (4), p. 969 – 985.
21. Perebyynis V., Havrish V., Perebyynis U. Energy efficient regional development strategies // Wspolpraca europejska, 2016, Vol. 8(15), p. 99 – 107.

### Підрозділи 1.6., 1.7.

1. Державна служба статистики України [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.ukrstat.gov.ua>.
2. Енергетична стратегія України на період до 2030 р. від 24.07.2013 № 1071 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://search.ligazakon.ua/l\\_doc2.nsf/link1/FN002747.html](http://search.ligazakon.ua/l_doc2.nsf/link1/FN002747.html).
3. Калініченко О. В. Енергетична безпека України / О. В. Калініченко, А. С. Лесюк // Економіка. Фінанси. Право. – 2013. – № 1. – С. 3 – 7.
4. Міністерство енергетики та вугільної промисловості України [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://mpe.kmu.gov.ua>.
5. Нафтогаз України [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.naftogaz.com>.
6. BP (British petroleum) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.bp.com>.
7. European Commission [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://ec.europa.eu>.
8. Energy Information Administration [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.eia.gov>.

### Підрозділ 1.8.

1. Войнаренко М. П. Кластери в інституційній економіці: монографія / М. П. Войнаренко. – Хмельницький: ХНУ, ТОВ “Тріада-М”, 2011. – 502 с.
2. Соколенко С. І. Кластери в глобальній економіці / С. І. Соколенко. – К.: Логос, 2004. – 848 с.
3. Вишнякова О. Н. Структура энергетического кластера: организационно-управленческий аспект / О. Н. Вишнякова, А. В. Абрамова // Энергетика Татарстана. – № 1. – 2010. – С. 64 – 72.
4. Биркович Т. І. Регулювання розвитку енергетики України: інноваційні технології, механізми, стратегії та інструменти реалізації державної політики / Т. І. Биркович. – Донецьк: Вид-во “Юго-Восток”, 2013. – 614 с.
5. Ільчук В. П. Кластерна стратегія розвитку економіки регіону: монографія / В. П. Ільчук, І. О. Хоменко, І. В. Лисенко. – Чернігів: Черніг. держ. технол. ун-т, 2013. – 367 с.

6. Бушуева М. А. Синергія в кластері [Електронний ресурс] / М. А. Бушуева // Інтернет-журнал “Науковедение”. – 2012. – № 4. – Режим доступу : <http://cyberleninka.ru/article/n/sinergiya-v-klastere>.

7. Войнаренко М. П. Механізми адаптації кластерних моделей до політико-економічних реалій України / М. П. Войнаренко // Світовий та вітчизняний досвід запровадження нових виробничих систем (кластерів) для забезпечення економічного розвитку територій: Матеріали конференції 1 – 2 листопада 2001 р. – Київ: Спілка економістів України, 2001. – С. 25 – 33.

### **Підрозділ 1.9.**

1. Офіційний сайт Угоди мерів. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://www.covenantofmayors.eu/index\\_en.html](http://www.covenantofmayors.eu/index_en.html).

2. Горбань В. Б. Особливості використання фінансових ресурсів міст для потреб сталого енергетичного розвитку на засадах проектно-орієнтованого управління / В. Б. Горбань // Бізнес Інформ. – 2016. – № 11. – С. 305 – 312.

3. Горбань В. Б. Актуальні проблеми ефективного використання паливно-енергетичних ресурсів та їх вплив на економіку України / В. Б. Горбань // Наука й економіка. – 2014. – Вип. 3 (35). – С. 231 – 238.

4. Проблеми сталого розвитку суспільства: погляд очима різних поколінь: [монографія] / За заг. ред. О. Ю. Березіної, Ю. В. Ткаченко ; Національна мережа ВНЗ-партнерів спільного Проекту ЄС/ПРООН “Місцевий розвиток, орієнтований на громаду”; Черкаський державний технологічний університет. – Черкаси: Чабаненко Ю. А., 2016. – 706 с.

5. Енергоефективність в муніципальному секторі. Навчальний посібник для посадових осіб місцевого самоврядування / А. Максимов, І. Вахович, Т. Гутніченко та ін. / Асоціація міст України. – К.: ТОВ “Підприємство “ВІ ЕН ЕЙ”, 2015. – 184 с.

6. Постанова Кабінету Міністрів України “Про вдосконалення державної політики регулювання цін на природний газ і тарифів на теплову енергію та забезпечення посилення соціального захисту населення під час оплати житлово-комунальних послуг” від 25.03.2014 р. № 81. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/81-2014-%D0%BF>.

7. Офіційний сайт Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.nerc.gov.ua>.

8. Офіційний сайт НАК “Нафтогаз України”. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.naftogaz.com/www/3/nakweb.nsf?Open>.

9. “Україна: Перспективи розвитку”: Консенсус-прогноз Міністерства економічного розвитку і торгівлі України. – 2017. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.me.gov.ua/Documents/List>.

10. Горбань В. Б. Трансформація імперативних підходів до процесу планування в енергетичній сфері України / В. Б. Горбань // Інвестиції: практика та досвід. – 2015. – № 24. – С. 53 – 59.

11. Горбань В. Б. Управління сталим енергоефективним розвитком на місцевому рівні: стейкхолдер-орієнтований підхід / В. Б. Горбань // Проблеми економіки. – 2016. – №4. – С. 47 – 56.

12. Horban V. V. Municipal Energy Planning under Conditions of Globalization: Imperatives and Objectives / V. V. Horban // The Problems of Economy. – 2017. – №4. – С. 71 – 78.

13. How to develop a Sustainable Energy Action Plan (SEAP): guidebook. – 2014. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.covenantofmayors.eu/support/library.html>.

14. How to finance your local energy & climate actions: Interactive Guide – 2018. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.covenantofmayors.eu/support/library.html>.

15. The Covenant of Mayors for Climate and Energy Reporting Guidelines. – 2016. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.covenantofmayors.eu/support/library.html>.

16. Współczesne wyzwania bezpieczeństwa europejskiego: Monografia / Redakcja Przemysław Mazur, Olga Wasiuta. – Uniwersytet Pedagogiczny im. KEN w Krakowie: Wydawnictwo Attyka. – Kraków. – 2016. – 230 st.

17. Закон України “Про особливості здійснення права власності у багатоквартирному будинку” від 14.05.2015 р. № 417-VIII. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/417-19>.

### **Підрозділ 1.10.**

1. Глобальні цілі / Цілі сталого розвитку 2015 – 2030 [Електронний ресурс] / United Nations Ukraine. – Режим доступу: <http://www.ua.undp.org/content/ukraine/uk/home/sustainable-development-goals.html>.

2. Завгородня С. П. Енергетична бідність як наукова категорія та першочергові завдання органів державної влади щодо її подолання / С. П. Завгородня // Науковий часопис Академії національної безпеки. – 2017. – № 3 – 4 (15 – 16). – С. 41 – 59.

3. Завгородня С. П. Фактори виникнення енергетичної бідності та пріоритетні напрями її подолання. Аналітична записка [Електронний ресурс] / Національний інститут стратегічних досліджень. – Режим доступу: [http://www.niss.gov.ua/content/articles/files/energet\\_bidnist-66a29.pdf](http://www.niss.gov.ua/content/articles/files/energet_bidnist-66a29.pdf).

4. Лібанова Е. М. Бідність населення України: причини, масштаби, наслідки / Е. М. Лібанова. – К. КНЕУ, 2008. – 328 с.

5. Марченко С. Мінфін підготував план монетизації субсидій [Електронний ресурс] / ZN,UA. – Режим доступу: [https://dt.ua/UKRAINE/minfin-pidgotuvav-plan-monetizaciyi-subsidiy-257557\\_.html](https://dt.ua/UKRAINE/minfin-pidgotuvav-plan-monetizaciyi-subsidiy-257557_.html).

6. Нерівність доходів по-українськи: “гірше”, ніж у Гондурасі, “краще”, ніж у Швеції [Електронний ресурс] Укрінформ. – Режим доступу: <https://www.ukrinform.ua/rubric-economy/2162366-nerivnist-dohodiv-poukrainski-girse-niz-u-gondurasi-krase-niz-u-svecii.html>.
7. Про ринок електричної енергії: Закон України від 13.04.2017 № 2019-VIII [Електронний ресурс] / Верховна Рада України. – Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/2019-19>.
8. Про ринок природного газу: Закон України від 09.04.2015 № 329-VIII [Електронний ресурс] / Верховна Рада України. Режим доступу: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/329-19>.
9. Про спільні правила внутрішнього ринку природного газу та про скасування Директиви 2003/55/ЄС: Директива Європейського парламенту та Ради 2009/73/ЄС від 13 липня 2009 року [Електронний ресурс] / Міністерство юстиції України. – Режим доступу: <http://old.minjust.gov.ua/file/32544.docx>.
10. Світова гібридна війна: український фронт : монографія / за заг. ред. В. П. Горбуліна. – К.: НІСД, 2017. – 496 с.
11. Суходоля О. М. Геополітичні та гео економічні пріоритети енергетичної безпеки України / О. М. Суходоля // Стратегічна панорама, 2017. – № 1. – С. 42 – 52.
12. Суходоля О. М. Енергетичний сектор України: перспектива реформування чи стагнація? / О. М. Суходоля, А. Ю. Сменковський // Стратегічні пріоритети, 2013. – № 2(27). – С. 74 – 80.
13. Фонд енергоефективності. Як це буде [Електронний ресурс] / Урядовий портал. – Режим доступу: [https://www.kmu.gov.ua/storage/app/media/uploaded-files/ZUBKO%20EE%20Fund\\_28\\_Feb2018\\_version%202.pdf](https://www.kmu.gov.ua/storage/app/media/uploaded-files/ZUBKO%20EE%20Fund_28_Feb2018_version%202.pdf).
14. How to end Energy Poverty? Scrutiny of Current EU and Member States Instruments: Directorate general for internal policies Policy Department A: economic and scientific policy [Електронний ресурс] / European Parliament. – Режим доступу: [http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2015/563472/IPOL\\_STU\(2015\)563472\\_EN.pdf](http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2015/563472/IPOL_STU(2015)563472_EN.pdf).
15. How to end Energy Poverty? Scrutiny of Current EU and Member States Instruments: Directorate general for internal policies Policy Department A: economic and scientific policy [Електронний ресурс] / European Parliament. – Режим доступу: [http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2015/563472/IPOL\\_STU\(2015\)563472\\_EN.pdf](http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2015/563472/IPOL_STU(2015)563472_EN.pdf).
16. Towards a social Energy Union: Tackling energy poverty in Europe: Declaration of PES Energy Ministers adopted in June 2016 [Електронний ресурс] / PES. – Режим доступу: <https://www.pes.eu/permalink/fc0b58c2-d81a-11e6-9ed2-9a82572148c5.pdf>.

### Підрозділ 1.11.

1. Барновалов М. П. Факторы обеспечения экономико-энергетической безопасности территории / М. П. Барновалов / БАГСУ [электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.bagsurb.ru/journal/Barnovalov>.
2. Борталевич С. И. Методические основы оценки энергетической безопасности регионов / С. И. Борталевич // Экономический анализ: теория и практика. – 2012. – № 38 (293). – С. 33 – 41.
3. Бружукова О. В. Комплексная социо-эколого-экономическая оценка формирования и прогнозирование развития территориальных систем: Автореф. ... дис. к.э.н.: 08.00.05. – Бружукова Ольга Валерьевна. – Ставрополь, 2010. – 24 с.
4. Дерзкий В. Г. Реформирование рынка в электроэнергетике Украины и целесообразование / В. Г. Дерзкий // Электросбережение. Энергетика. Энергоаудит. – 2012. – № 11 (105). – С. 13 – 29.
5. Дружинин П. В. Развитие экономики региона и энергосбережение [Електронний ресурс] / П. В. Дружинин, А. П. Щербак – Режим доступа: <http://science.kuzstu.ru/wp-content/Events/Conference/Other/2015/econom/pages/Articles/2/Druzhinin.pdf>.
6. Карпов В. В. Определение угрозы энергетической безопасности / В. В. Карпов, Р. Ю. Симанчев // Вестник Омского государственного университета. Серия “Экономика” – 2016. – № 4. – С. 30 – 38.
7. Мазур І. М. Критерії оцінювання енергетичної безпеки: ресурсний підхід / І. М. Мазур // Актуальні проблеми розвитку економіки регіону. – 2014. – Вип. 10. – Т. 2. – С. 145 – 153.
8. Мазур І. М. Організаційно-економічний механізм забезпечення енергетичної безпеки національної економіки: [монографія] / І. М. Мазур. – Івано-Франківськ: НАІР, 2014. – 648 с.
9. Тимофеев Р. А. К вопросу о ресурсном подходе в управлении топливно- и энергопотреблением производственно-экономической системы / Р. А. Тимофеев // Вестник Самарского гос. Экон. Ун-та. – 2009. № 2 (52). – С. 85 – 91.
10. Шевчук Я. В. Енергетична безпека регіонів та її фактори [Електронний ресурс] // Ефективна економіка / Я. В. Шевчук. – 2014. – № 12.

### Підрозділ 1.12.

1. Руководство по исследованию скважин / [Гриценко А. И., Алиев З. С., Ермилов О. М., и др.]. – М.: Наука, 1995. – 523 с.
2. Матус Б. А., Рой М. М., Ластовка Ю. В., Ластовка В. Г., Попенко С. В. Про можливість дослідження свердловин на одному стаціонарному режимі // Збірник наукових праць УкрДГРІ – Київ. – 2005. № 2. – С. 210 – 211.
3. Акульшин О. О. Підвищення ефективності дослідження газових та газоконденсатних свердловин / Олександр Акульшин, Микола Рой // Збірник наукових праць ДП “Науканафтогаз” “Проблеми нафтогазової промисловості”. – 2011. – № 9. – С. 227 – 234.
4. Пат. 121860 Україна, МПК (2017.01) E21 B 47/00 Спосіб дослідження високопродуктивних газових та газоконденсатних свердловин при нестационарному режимі фільтрації / Рой М. М.; заявник і патентовласник Рой М. М.; заявл. 09.02.2017; опубл. 26.12.2017, Бюл. № 24.

5. Патент України № 110657. Спосіб попередньої оцінки величини початкових запасів газу. Рой М. М. заявник і патентовласник Рой М. М.; заявл. 04.03.2016; опубл. 25.10.2016, бюл. № 20.

6. Рой М. М., Перспективність випробування газонасичених пластів у процесі буріння в режимі пробної експлуатації / Рой М. М., Ластовка В. Г. : матеріали наук.-техн. конф. [“Підвищення ефективності буріння свердловин та інтенсифікації нафтогазовидобутку на родовищах України”], (Івано-Франківськ, 16 – 18 листопада 2010 р.) / М-во науки та освіти України, Івано-Франківський нац. техн. ун-т нафти і газу. – І-Ф.: Івано-Франківський нац. техн. ун-т нафти і газу, 2010. – С. 62 – 64.

### **Підрозділ 1.13.**

1. В Украине себестоимость кВт-ч солнечной электроэнергии упала до 0,95 грн. // Atmosfera Review [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://atmosferareview.com/216/07/12/в-украине-себестоимость-квт-ч-солнеч>.

2. Гоцын Р. Л. Основы энергетической безопасности Украины. Монография / Р. Л. Гоцын; Кривой Рог: Дионис, 2013. – 44 с.

3. Енергетичні компанії в Україні повинні стати публічними. Енергетична Рада Аграрної партії [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://agroparty.rv.ua/Energetichni-kompanii-v-Ukraini-provin>.

4. Електроенергія. Експорт – імпорт / ОО “Майдан Сичеслав-Днепр” на основани матеріалов сайта Госкомстат Украины [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://msdnipro.com/nashi-statti/elektroenergiya-eksport-import.html>.

5. Зеркалов Д. В. Энергетическая безопасность [Электронный ресурс]: монография / Д. В. Зеркалов. – Электрон. дан. – К.: Основа, 2012. – 922 с. – 1 электрон. отп. диск (CD-ROM).

6. Кінцеве енергоспоживання за 2007 – 2016 роки. Державна статистична служба України [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.ukrstat.gov.ua>.

7. Производство электроэнергии в Украине. Портал “Енергетика України” [Электронный ресурс]. – Режим доступу: <http://uaenergy.com.ua/post/21233>.

8. “Стратегія національної безпеки України”: Указ президента України № 287/2015 від 26.05.2015 р. [Электронный ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/287/2015>.

9. Украина и экспорт электроэнергии в ЕС. Мнение экспертов [Электронный ресурс] / РИА Новости Украина. – Режим доступа: <http://rian.com.ua/view/20160127/1004274819.html> РИА.

10. Dzyadykevich Yu. V. Ways of guaranteeing energy security in Ukraine [Электронный ресурс] / Yu. V. Dzyadykevich // Інноваційна економіка, 2014. – № 3(52). – Режим доступу: [http://ie.at.ua/English\\_3\\_2014/Dzyadykevich\\_Yu.V-WAYS\\_OF\\_GUARANTEEING\\_ENERGY\\_SECU.pdf](http://ie.at.ua/English_3_2014/Dzyadykevich_Yu.V-WAYS_OF_GUARANTEEING_ENERGY_SECU.pdf).

11. Monthly electricity statistics. International Energy Agency [Электронный ресурс]. – Режим доступу: <http://www.iea.org/statistics/monthlystatistics/monthlyelectricitystatistics>.

12. Szalbiers Zdzislaw. Energy security as a public good / Zdzislaw Szalbiers, Edita Popuszynska-Surma // Web of Conferens 14, 01005 (2017) “Energy and Fuels 2016”.

13. Valuation of Energy Security for the United States: Appendices: Report to Congress, January, 2017 / United States Department of Energy, Washington, DC 20585, 89 p.

### **Підрозділ 1.14.**

1. Енергетична стратегія України на період до 2030 р. від 24.07.2013 № 1071 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://search.ligazakon.ua/l\\_doc2.nsf/link1/FN002747.html](http://search.ligazakon.ua/l_doc2.nsf/link1/FN002747.html).

2. Global Resources and International Conflicts. Environmental Factors in Strategic Policy and Action / Ed. By Arthur H. Westing. Stockholm International Peace Research Institute. Oxford. New York. Oxford University Press, 1986.

3. World Energy Council [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.worldenergy.org>.

## **Список використаних джерел до розділу 2.**

### **Підрозділ 2.1.**

1. Апельсник Н. (в) Мясо из пробирки подешевело в 30000 раз за 4 года // Хайтек. 22.02.2017. [Электронный ресурс]: – Режим доступа: [https://hightech.fm/2017/02/22/lab\\_grown\\_meat](https://hightech.fm/2017/02/22/lab_grown_meat). – Название с домашней страницы Интернета.

2. Бельгия и Словакия могут полностью покрыть потребность в энергии за счет биогаза // Журнал “Международная биоэнергетика”. 15.03.2015. [Электронный ресурс]: – Режим доступа: <http://www.infobio.ru/news/3057.html>. – Название с домашней страницы Интернета.

3. Бобылёв Б. И. Атомная энергетика Европы // Russika.ru. 2016. URL : <http://www.russika.ru/sa.php?s=2>. – Название с домашней страницы Интернета.

4. В Европе почти вся новая энергия производится за счёт ВИЭ. ЭкоТехника. 10.02.2017. [Электронный ресурс]: – Режим доступа: <http://ecotechnica.com.ua/energy/2062-v-evrope-pochti-vsya-novaya-energiya-proizvoditsya-za-schet-vie.html>. – Название с домашней страницы Интернета.

5. В Украине общая мощность СЭС превысит 1000 МВт : в 2017 году в эксплуатацию введётся 54 новых солнечных электростанций (а) // ЭкоТехника. 06.02.2017. [Электронный ресурс]: – Режим доступа: <http://ecotechnica.com.ua/energy/solntse/2038-v-ukraine-obshchaya-moshchnost-ses-prevysit-1000-mvt-v-2017-godu-v-ekspluatatsiyu-vvedetsya-54-novye-solnechnye-elektrostantsii.html>. – Название с домашней страницы Интернета.

6. Вязов Н. Солнечная энергетика за год обогнала ветровую по росту мощностей // 24news.com.ua. 01.04.2017. [Электронный ресурс]: – Режим доступа: <http://24news.com.ua/32921-solnechnaya-energetika-za-god-obognala-ventrovuyu-po-rostu-moshhnostej>. – Название с домашней страницы Интернета.
7. Гандзий А. Тепло земли используют для обогрева дома // Gazeta.ua. 14.10.2013. [Электронный ресурс]: – Режим доступа: [https://gazeta.ua/ru/articles/hata-newspaper/\\_teplo-zemli-ispolzuyut-dlya-obogreva-doma/520605](https://gazeta.ua/ru/articles/hata-newspaper/_teplo-zemli-ispolzuyut-dlya-obogreva-doma/520605). – Название с домашней страницы Интернета.
8. Геотермальная энергетика. 2017. [Электронный ресурс]: – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki>. – Название с домашней страницы Интернета.
9. Дияшев И. Уже очень скоро нефть подешевеет так же, как и соль // Апостроф. 05.02.2017. [Электронный ресурс]: – Режим доступа: <https://economy.apostrophe.ua/article/jenergetika/2017-02-05/uje-ochen-skoro-neft-podesheveet-tak-je-kak-i-sol/9976>. – Название с домашней страницы Интернета.
10. Для 139 країн світу // Ecotown. 21.11.2015. [Электронный ресурс]: – Режим доступа: <http://ecotown.com.ua/news/Dlya-139-krayin-svitu-v-tomu-chysli-dlya-Ukrayiny-stvoreno-plan-vidmovy-vid-vukorpo-ho-palyva-do-2050>. – Название с домашней страницы Интернета.
11. Энергетика України // Довідник. 2017. [Электронный ресурс]: – Режим доступа: <http://businessviews.com.ua/ru/the-infographics-report-energy-of-ukraine-2017/#form>. Назва з домашньої сторінки Інтернету.
12. Закопана під землю труба дозволяє економити на кондиціонуванні та опаленні будинку // EcoTown. 07.05.2015. [Электронный ресурс]: – Режим доступа: <http://ecotown.com.ua/news/Zakopana-pid-zemleyu-truba-dozvolya-ye-ekonomyty-na-kondytsionuvanni-ta-opalenni-budynku>. – Назва з домашньої сторінки Інтернету.
13. Каждый час в Китае устанавливается 1 ветряная турбина и СЭС размерами с 3 футбольных поля // ЭкоТехника. 18.01.2017. [Электронный ресурс]: – Режим доступа: <http://ecotechnica.com.ua/energy/1965-kazhdyj-chas-v-kitae-ustanavlivaetsya-1-ventryanaya-turbina-i-ses-razmerami-s-3-futbolnykh-polya.html>. – Название с домашней страницы Интернета.
14. Как получить электричество из куриного помета // Газета о личностях и лицадеях “Лица” / Новости / Экология. 17.03.2017. [Электронный ресурс]: – Режим доступа: <http://www.litsa.com.ua/show/a/34848>. – Название с домашней страницы Интернета.
15. Китай превзошел собственные планы по установке солнечных батарей // Shazoo. 28.08.2017. [Электронный ресурс]: – Режим доступа: <https://shazoo.ru/2017/08/28/56030/kitaj-prevzoshel-sobstvennyye-plany-po-ustanovke-solnechnyh-batarej>. – Название с домашней страницы Интернета.
16. Когда Украина сможет стать энергонеzависимой. Спецпроект // TALAN ENERGY. [Электронный ресурс]: – Режим доступа: <http://talanenergy.com.ua/solnechnye-milliardy/>. – Название с домашней страницы Интернета.
17. Михайлова А. Китай поставит исторический рекорд в солнечной энергетике // Life&Наука. 20.20.2017. [Электронный ресурс]: – Режим доступа: [https://life.ru/t/%D0%BD%D0%B0%D1%83%D0%BA%D0%B0/1053663/kitaj\\_postavit\\_istorichieskii\\_riekord\\_v\\_solnoi\\_energhietikie](https://life.ru/t/%D0%BD%D0%B0%D1%83%D0%BA%D0%B0/1053663/kitaj_postavit_istorichieskii_riekord_v_solnoi_energhietikie). – Название с домашней страницы Интернета.
18. Обзор производства биогаза в мире // Biowatt. 15.07.2017. [Электронный ресурс]: – Режим доступа: <http://www.biowatt.com.ua/analitika/obzor-proizvodstva-biogaza-v-mire>. – Название с домашней страницы Интернета.
19. Одессер С. Атомная энергетика европейских стран [Текст] / С. Одессер // Экономика и финансы. – 2016. – С. 20 – 21.
20. Орел И. Возобновляемая энергетика в Украине : шаг вперед, два шага назад // Finance.ua / Новости. 10.10.2017. [Электронный ресурс]: – Режим доступа: <https://news.finance.ua/ru/news/-/412239/vozobnovlyaema-ya-energetika-v-ukraine-shag-vpered-dva-shaga-nazad>. – Название с домашней страницы Интернета.
21. Планы властей развивать энергетику по европейским стандартам поставили под сомнение // Цензор. Нет. 1.10.2014 : [Электронный ресурс]: – Режим доступа: [https://censor.net.ua/news/305057/plany\\_vlasteyi\\_razvivat\\_energetiku\\_po\\_evropeyiskim\\_standartam\\_postavili\\_pod\\_somnenie](https://censor.net.ua/news/305057/plany_vlasteyi_razvivat_energetiku_po_evropeyiskim_standartam_postavili_pod_somnenie). – Название с домашней страницы Интернета.
22. Португалия – европейский рекордсмен по использованию возобновляемых источников энергии // Euronews. 20.05.2016. [Электронный ресурс]: – Режим доступа: <http://ru.euronews.com/2016/05/20/portugal-keeps-lights-on-using-only-renewable-energy>. – Название с домашней страницы Интернета.
23. Приливные электростанции // Электроэнергетика и охрана окружающей среды. Функционирование энергетике в современном мире. [Электронный ресурс]: – Режим доступа: <http://energetika.in.ua/ru/books/book-5/part-1/section-2/2-5>. – Название с домашней страницы Интернета.
24. Рифкин Дж. Третья промышленная революция : как горизонтальные взаимодействия меняют энергетику, экономику и мир в целом [Текст] / пер. с англ., 3 изд. Москва : Альпина нонфикшн, 2016. – 410 с.
25. Савчук: Госэнергоэффективность готовит онлайн карту ВИЭ в Украине // Терминал. 16.05.2017. [Электронный ресурс]: – Режим доступа: <http://oilreview.kiev.ua/2017/05/16/savchuk-gosenergoeffektivnosti-gotovit-onlajn-kartu-vie-v-ukraine>. – Название с домашней страницы Интернета.
26. Скрипин В. (а) В Нидерландах начал курсировать первый в мире беспилотный пригородный автобус // ИТС.ua. 02.02.2016. [Электронный ресурс]: – Режим доступа: <http://its.ua/news/v-niderlandah-nachal-kursirovat-pervyyu-v-mire-bes-pilotnyu-prigodnyu-avtobus>. – Название с домашней страницы Интернета.
27. Украинские фермы проявляют интерес к биогазовым установкам // Biowatt. 17.03.2017. [Электронный ресурс]: – Режим доступа: <http://www.biowatt.com.ua/trends/ukrainskie-fermy-proyavlyayut-interes-k-biogazovym-ustanovkam>. – Название с домашней страницы Интернета.

28. Федосенко Н. (б) У березні Німеччина отримала 41 % електроенергії з ВДЕ // Ecotown. 22.04.2017. [Електронний ресурс]: – Режим доступу: <http://ecotown.com.ua/news/U-berezni-Nimechchyna-otrymala-41-elektroenerhiyi-z-VDE>. – Назва з домашньої сторінки Інтернету.
29. Bolton D. People in Germany are now being paid to consume electricity : The price of power in Germany briefly dropped to -€130 per MWh on 8 May // INDEPENDENT. 11.05.2016. [Electronic resource]: – Mode of access: WWW.URL: [www.independent.co.uk/environment/renewable-energy-germany-negative-prices-electricity-wind-solar-a7024716.html](http://www.independent.co.uk/environment/renewable-energy-germany-negative-prices-electricity-wind-solar-a7024716.html). – Last access: 2018. – Title from the screen.
30. Coren M. J. Germany had so much renewable energy on Sunday that it had to pay people to use electricity // Quartz. 10.05.2016. [Electronic resource]: – Mode of access: WWW.URL: <https://qz.com/680661/germany-had-so-much-renewable-energy-on-sunday-that-it-had-to-pay-people-to-use-electricity/> – Last access: 2018. – Title from the screen.
31. Denmark Just Produced 140% of its Electricity Needs with Renewable Wind Power // EARTH. WE ARE ONE / History & Exopolitics. 2015. [Electronic resource]: – Mode of access: WWW.URL: [www.ewao.com/a/1-denmark-just-produced-140-of-its-electricity-needs-with-renewable-wind-power](http://www.ewao.com/a/1-denmark-just-produced-140-of-its-electricity-needs-with-renewable-wind-power) – Last access: 2018. – Title from the screen.
32. Dutch electric trains become 100% powered by wind energy // International Edition “theguardian”. 10.06.2017. [Electronic resource]: – Mode of access: WWW.URL: [www.theguardian.com/world/2017/jan/10/dutch-trains-100-percent-wind-powered-ns](http://www.theguardian.com/world/2017/jan/10/dutch-trains-100-percent-wind-powered-ns). – Last access: 2018. – Title from the screen.
33. New energy outlook 2017. Annual long-term economic forecast // Bloomberg New Energy Finance. 2016. [Electronic resource]: – Mode of access: WWW.URL: <https://about.bnef.com/new-energy-outlook>. – Last access: 2018. – Title from the screen.
34. Reed S. Power prices go negative in Germany, a positive for energy users // The New York Times / Energy & Environment. 25.12.2017. [Electronic resource]: – Mode of access: WWW.URL: <https://mobile.nytimes.com/2017/12/25/business/energy-environment/germany-electricity-negative-prices.html?referer>. – Last access: 2018. – Title from the screen.
35. Shahan Z. 10 Solar Energy Facts & Charts You (& Everyone) should know // Clean Technica. 17.08.2016. [Electronic resource]: – Mode of access: WWW.URL: <https://cleantechnica.com/2016/08/17/10-solar-energy-facts-charts-everyone-know/>. – Last access: 2018. – Title from the screen.
36. Solar Power // Clean Technica. [Electronic resource]: – Mode of access: WWW.URL: <http://cleantechnica.com/solar-power>. – Last access: 2018. – Title from the screen.
37. Weaver J. F. Solar power cost down 25 % in five months – “There’s no reason why the cost of solar will ever increase again” // Electrek. 26.09.2016. [Electronic resource]: – Mode of access: WWW.URL: <https://electrek.co/2016/09/26/solar-power-cost-down-25-in-five-months-theres-no-reason-why-the-cost-of-solar-will-ever-increase-again/> – Last access: 2018. – Title from the screen.

## **Підрозділ 2.2.**

1. World Wind Energy Report 2013 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://www.wwindea.org/home/images/stories/pdfs/worldwindenergyreport2010\\_s.pdf](http://www.wwindea.org/home/images/stories/pdfs/worldwindenergyreport2010_s.pdf).
2. Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis>.
3. Global Market Outlook for Photovoltaics 2014 / EPIA. – European Photovoltaic Industry Association.
4. Market Report 2013 (02) / EPIA–publications. European Photovoltaic Industry Association. January 2014.
5. REN21 2013 Renewables Global Status Report [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://www.ren21.net/Portals/0/documents/Resources/GSR/2013/GSR2013\\_lowres.pdf](http://www.ren21.net/Portals/0/documents/Resources/GSR/2013/GSR2013_lowres.pdf).
6. Кудря С. О., Яценко Л. В., Душина Г. П. та ін. Атлас енергетичного потенціалу відновлюваних та нетрадиційних джерел енергії України. – Київ: Інститут електродинаміки НАНУ, 2001. – 41 с.
7. Атлас енергетичного потенціалу відновлюваних та нетрадиційних джерел енергії України Державний комітет України з енергозбереження, НАН України. – Київ, 2001. – 35 с.
8. Алхасов А. Б. Возобновляемая энергетика / А. Б. Алхасов. – М.: Физматлит, 2012. – 247 с.
9. Energy portal / Energy sector review [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://w1.inogate.org/index.php?option=com\\_inogate&view=countrysector&id=92&Itemid=63&lang=en](http://w1.inogate.org/index.php?option=com_inogate&view=countrysector&id=92&Itemid=63&lang=en).

## **Підрозділ 2.3.**

1. Про “Про альтернативні види палива” : Закон України від 14.01.2000 року № 1391 – XIV [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua>.
2. Про альтернативні джерела енергії: Закон України від 20.02.2003 року № 555IV [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua>.
3. Про ратифікацію Договору до Енергетичної Хартії та Протоколу до Енергетичної Хартії з питань енергетичної ефективності і суміжних екологічних аспектів: Закон України від 6 лютого 1998 року № 89/98-ВР [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua>.
4. Про внесення змін до деяких законів України щодо встановлення “зеленого тарифу”: Закон України від 25 вересня 2008 року № 601-VI [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua>.
5. Про приєднання України до Статуту Міжнародного агентства з відновлювальних джерел енергії (IRENA) : Закон України від 05.12.2017 № 2222-VIII [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua>.



6. Національний план дій з відновлюваної енергетики на період до 2020 року, затв. розпорядженням Кабінету Міністрів України від 1 жовтня 2014 р. № 902-р. <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/902-2014-%D1%80>.
7. Про затвердження плану заходів з імплементації Директиви Європейського Парламенту та Ради 2009/28/ЄС: розпор. Кабінету міністрів України від 3 вересня 2014 р. № 791-р [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua>.
8. Про схвалення Енергетичної стратегії України на період до 2035 року “Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність” : розпор. Кабінету Міністрів України від 18 серпня 2017 р. № 605-р [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/uk/publish/article?art\\_id](http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/uk/publish/article?art_id).
9. Про затвердження Порядку встановлення, перегляду та припинення дії “зеленого” тарифу для суб’єктів господарської діяльності : Постанова Національної комісії регулювання електроенергетики України від 22 січня 2009 р. № 32 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua>.
10. Інформаційно-аналітичний ресурс “Українська енергетика UA-Energy.org” [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://ua-energy.org/uk/about>.
11. Інформація про об’єкти альтернативної енергетики, яким встановлено “зелений” тариф (станом на 01.07.2017 р.) / Офіційний сайт Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг / [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.necg.gov.ua>.
12. Аналіз енергетичних стратегій країн ЄС та світу і ролі в них відновлювальних джерел енергії [Електронний ресурс]. – Режим доступу: // <http://greenergy.com.ua/info-data/analiz-energetichnih-strategij-krayin-esta-svitu-i-rol-i-v-nih-vidnovlyuval-nih-dzherel-energiyi>.
13. Аналіз використання потенціалу вітрової і сонячної енергії в Карпатському регіоні / Мандрик О. М. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: // <http://library.nung.edu.ua/sites/default/files/articles/4762p.pdf>.
14. Атлас енергетичного потенціалу нетрадиційних та відновлюваних джерел енергії. – К., 2008. – 54 с.
15. Зелений тариф та альтернативне майбутнє України: Україна комунальна // <http://jkg-portal.com.ua/ua/publication/one/alternativne-majbutneukrajini.12>.
16. Енергетичний баланс України за 2016 рік [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/menu/menu\\_u/energ.htm](http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/menu/menu_u/energ.htm).
17. Європейська стратегія тривалої, конкурентоспроможної та безпечної енергетики. Зелена Книга комісії. Європейський Союз; Міжнародний документ від 08.03.2006 р. № COM (2006) 105 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/994\\_713](http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/994_713).
18. Карта об’єктів відновлювальних джерел енергії [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.google.com/maps>.
19. Кишко О. Б. Правове регулювання визначення відновлювальних джерел енергії / О. Б. Кишко // Проблеми та перспективи реформування права України очима молодих вчених : тези доповідей Всеукраїнської студ. наук.-практ. конф. (м. Запоріжжя, 23 березня 2007 р.). – Запоріжжя : ЗНУ, 2007. – С. 145 – 147.
20. Кузьмінський Є. В. Стан, проблеми та перспективи біоенергетики в Україні / Кузьмінський Є. В., Голуб Н. Б., Щурська К. О. / Відновлювана енергетика, 2009, № 4. – с. 70.
21. Основи вітроенергетики: підручник / Г. Півняк, Ф. Шкрабець, Н. Нойбергер, Д. Ципленков; М-во освіти і науки України, Нац. гірн.ун-т. – Д.: НГУ, 2015. – 335 с.
22. Проект “Підвищення прозорості видобувної галузі шляхом сприяння розробки законодавства та адміністративних реформ в Україні” за підтримки Інституту з управління природними ресурсами (NRGI) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://ua-energy.org/ckeditor\\_assets/attachments/68/rgi\\_ukr\\_web.pdf](https://ua-energy.org/ckeditor_assets/attachments/68/rgi_ukr_web.pdf).
23. Перспективи енергозабезпечення України в контексті світових тенденцій : Монографія / За заг. науковою ред. А. Шевцова. – Д.: РФНІСД, 2008. – 208 с.
24. Розвиток відновлюваних джерел енергії в Україні, березень, 2017 р. / Звіт в рамках проекту “Секретаріат та Експертний хаб з енергоефективності”, що впроваджується Програмою розвитку ООН в Україні за підтримки Уряду Республіки Словачія та сприяння Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарств в Україні [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.minregion.gov.ua/wp-content/uploads/2017/03/Rozvitok>.
25. Шевцов А. Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії в Україні у світлі нових європейських ініціатив / А. Шевцов, М. Земляний, Т. Рязова. [Електронний ресурс]. – Режим доступу <http://old.niss.gov.ua/monitor/november08/2.htm>.
26. REMAP – 2030. Перспективи розвитку відновлюваної енергетики в Україні до 2030 р. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [www.irena.org/remap](http://www.irena.org/remap).
27. Офіційний сайт видання UN Environment, Bloomberg New Energy Finance [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.bnef.com/dataview/clean-energy-investment/index.html>.
28. Офіційний сайт International energy agency (Міжнародного енергетического агентства) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.niss.gov.ua/articles/232>.
29. Офіційний сайт Державного агентства з енергоефективності та енергозбереження України [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://sae.gov.ua/uk/ae/bioenergy>.

#### Підрозділ 2.4.

1. Башинська Ю. І. Організаційно-економічні засади використання потенціалу відновлюваної енергетики в регіоні: дис. На здобуття наук. ступеня канд. економ. наук: спеціальність: 08.00.05. розвиток продуктивних сил і регіональна економіка / Башинська Юлія Іванівна. – Львів, 2017. – С. 23 – 34.

2. Кудря С. О. Презентація Перспективи розвитку відновлюваної енергетики в Україні [Електронний ресурс] / С. О. Кудря // Розвиток вітроенергетик та сонячної енергетики / Інститут ВЕ НАН Укр. – Режим доступу: <http://ive.org.ua/wp-content/uploads/2012/06/%D0%9A%D1%83%D1%80%D1%8F-22.04.2012-FINAL.pdf>.
3. Маляренко В. А. Енергетика і навколишнє середовище. – Харків: В-цтво САГА, – 2008 р. – 364 с.
4. Про відновлювану енергетику [Електронний ресурс] // Офіційний сайт Міжнародного енергетичного агентства. – Режим доступу: <http://www.iea.org/topics/renewables>.
5. Темпи встановлення нових потужностей електрогенерації з відновлюваних джерел в Україні у 2016 році збільшилися в 4 рази у порівнянні із 2015 роком // Офіційний сайт Державного агентства з енергоефективності та енергозбереження України. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://sae.gov.ua/uk/news/1545>.
6. Титко Р. Відновлювальні джерела енергії. / Р. Титко, В. Калініченко. – Варшава : Вид-во OWG, 2010. – 530 с.
7. У 2017 році Україна ввела в експлуатацію 257 МВт нових потужностей відновлюваної електроенергетики [Електронний ресурс] // Інформаційний ресурс Еко Таун: Альтернативна енергетика в Україні. 19.01.2018. – Режим доступу: <http://ecotown.com.ua/news/U-2017-rotsi-Ukrayina-vvela-v-ekspluatatsiyu-257-MVt-novykh-potuzhnostey-vidnovlyuvanoyi-elektroener>.

### **Підрозділ 2.5.**

1. Безруких П. П. Ветроэнергетика (Справочное и методическое пособие) / П. П. Безруких. – М. : – ИД “Энергия”. 2010, 320 с.
2. Безруких П. П. Эффективность возобновляемой энергетики. Мифы и факты / П. П. Безруких // Вестник аграрной науки Дона. – 2015. – № 1. – С. 5 – 17.
3. Денисюк С. П. Технологічні орієнтири реалізації концепції SmartGrid в електроенергетичних системах / С. П. Денисюк. // Енергетика: економіка, технології, екологія. Науковий журнал. – 2014. – № 1 (35) – С. 7 – 21.
4. Максимум отдачи при минимуме затрат: новый рекорд снижения цен на ВИЭ. [Електронний ресурс] – Режим доступу: [http://fs-unep-centre.org/sites/default/files/attachments/pr\\_russian\\_gtr\\_2017.pdf](http://fs-unep-centre.org/sites/default/files/attachments/pr_russian_gtr_2017.pdf).
5. Поддерживая глобальный переход к возобновляемой энергетике. [Електронний ресурс] – Режим доступу: [http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2017/10/17-8399\\_GSR\\_2017\\_KEY-FINDINGS\\_low.pdf](http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2017/10/17-8399_GSR_2017_KEY-FINDINGS_low.pdf).
6. Проскурякова Л. Н. Возобновляемая энергетика 2030: глобальные вызовы и долгосрочные тенденции инновационного развития / Л. Н. Проскурякова, Г. В. Ермоленко; Нац. исслед. ун-т “Высшая школа экономики”. – М. : НИУ ВШЭ, 2017. – 96 с.
7. BP (2016) BP Energy Outlook. 2016 edition. [Електронний ресурс] – Режим доступу : <http://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/energy-economics/energy-outlook-2016/bp-energy-outlook-2016.pdf>.
8. ACEEE: Major New U.S. Energy Find Could Offset Nearly A Quarter Of Nation’s Power Use [Електронний ресурс] – Режим доступу : <http://www.prnewswire.com/news-releases/aceee--major-new-us-energy-find-could-offset-nearly-a-quarter-of-nations-power-use-157262425.html>.
9. IEA (2015) The IEA’s role in global energy security. Paris: International Energy Agency.
10. IRENA (2016) REmap: Road map for a Renewable Energy Future, 2016 Edition. Abu Dhabi: International Renewable Energy Agency. [Електронний ресурс] – Режим доступу : [www.irena.org/remap](http://www.irena.org/remap).
11. National Renewable Energy Laboratory, Projected Benefits of Federal Energy Efficiency and Renewable Energy Programs – FY 2008 Budget Request, 2007.
12. OECD (2016) An OECD Horizon Scan of Mega trends and Technology Trends in the Context of Future Research Policy. Bredgade: Danish Agency for Science, Technology and Innovation.
13. OECD/IEA (2000) World Energy Outlook 2000. Paris: International Energy Agency.
14. OECD/IEA (2014) World Energy Outlook 2014. Paris: International Energy Agency.
15. OECD/IEA (2015) Key World Energy Statistics. Paris: International Energy Agency.
16. OECD/IEA (2016) World Energy Outlook 2016. Paris: International Energy Agency.
17. REN21 (2014) The first decade: 2004 – 2014. 10 years of renewable energy progress. Paris: REN21.
18. 10 steps to Smart Grids // Union of the Electricity Industry. – EURELECTRIC, 2011.

### **Підрозділ 2.6.**

1. Енергетична стратегія України на період до 2035 року “Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність” [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/605-2017>.
2. Енергоспоживання на основі відновлюваних джерел за 2007 – 2016 роки [Електронний ресурс] / Держстат України. – Режим доступу: [http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2016/sg/ekolog/ukr/esp\\_vg\\_u.htm](http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2016/sg/ekolog/ukr/esp_vg_u.htm).
3. Кваша Т. К. Вимірювання зеленого зростання в Україні: концепції, системи індикаторів, досвід формування та перспективи застосування: монографія / Т. К. Кваша, Л. А. Мусіна; за заг. ред. Мусіної Л. А. – К. : УкрІНТЕІ, 2015. – 280 с.
4. Михайлів М. І. Аналіз впровадження відновлюваних джерел енергії в Україні / М. І. Михайлів, В. В. Головка, І. М. Михайлів // Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування. – 2017. – № 2. – С. 159 – 164.
5. Роль і місце української енергетики у світових енергетичних процесах [Електронний ресурс] / Центр Разумкова. – Київ, 2018. – Режим доступу: [http://razumkov.org.ua/uploads/article/2018\\_ENERGY\\_PRINT.pdf](http://razumkov.org.ua/uploads/article/2018_ENERGY_PRINT.pdf).
6. Україна за три роки залучила у розвиток альтернативної енергетики більш як 700 млн євро [Електронний ресурс] / Інформаційне агентство УНІАН. – Режим доступу: <https://ecology.unian.ua/alternativenenergy/2175764-ukrajina-za-tri-roki-zaluchila-u-rozvitok-alternativnoji-energetiki-bilsh-yak-700-mln-evro-derjenergoefektivnosti.html>.

7. Хазан П. В. Впровадження “зеленої економіки” в Дніпропетровській області: рекомендації для влади [Електронний ресурс] / П. В. Хазан, О. В. Ангурець, О. М. Скакальський. – Режим доступу : [http://zsfoe.org/wp-content/uploads/2017/11/ZS\\_broshura\\_ISBN.pdf](http://zsfoe.org/wp-content/uploads/2017/11/ZS_broshura_ISBN.pdf).
8. Eastern Europe, Caucasus and Central Asia: Energy Policies Beyond IEA Countries [Електронний ресурс] / International Energy Agency. – Режим доступу: [https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/IDR\\_EasternEuropeCaucasus\\_2015.pdf](https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/IDR_EasternEuropeCaucasus_2015.pdf).
9. REmap 2030. Renewable Energy: Prospects for Ukraine [Електронний ресурс] / The International Renewable Energy Agency – Режим доступу: [http://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2015/Apr/IRENA\\_REmap\\_Ukraine\\_paper\\_2015.pdf#page=39](http://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2015/Apr/IRENA_REmap_Ukraine_paper_2015.pdf#page=39).

### Підрозділ 2.7.

1. Billinton R. at al. Reliability Assessment of Electric Power Systems Using Monte Carlo Methods. Springer Science+Business Media, LLC. – 1994. – 361 p.
2. Design and operation of power systems with large amounts of wind power. IEA WIND Task 25, Phase one 2006 – 2008, – Helsinki, 2009. – 232 p.
3. Design and operation of power systems with large amounts of wind power. IEA WIND Task 25, – Helsinki, 2012. – 100 p.
4. Nikolakakis T., Fthenakis V. Modeling the environmental impact of PV and wind large scale penetration in regional grids. IEEE 39th Photovoltaic Specialists Conference (PVSC), FL. – 2013. – p. 2326 – 2330.
5. Olsson M., Perninge M., Soder L. Modeling real-time balancing power demands in wind power systems using stochastic differential equations. Electric Power Systems Research – 2010. – № 80. – P. 966 – 974.
6. Passey R. et al. The potential impacts of grid-connected distributed generation and how to address them: A review of technical and nontechnical factors. Energy Policy. – 2011. – № 39. – P. 6280 – 6290.
7. Sørensen, P.; Hansen, A. D.; Blaabjerg, F.; Bech, J. Dynamic models for interaction between wind turbines and power systems / Power and energy systems. International conference, Risø National Laboratory, Denmark. – 2003. – p. 327 – 332.
8. Tarnowski G. C. Coordinated Frequency Control of Wind Turbines in Power Systems with High Wind Power Penetration. Technical University of Denmark. PhD Thesis, November 2011. – 284 p.
9. Денисюк П. Л. Моделювання режимів електроенергетичних систем з вітровими електричними станціями / П. Л. Денисюк, О. С. Яндутьський, С. О. Яндутьський // Зб. наук. праць Інституту електродинаміки НАН України. Спец. випуск. Ч. 2. – Київ, 2011. – С. 157 – 160.
10. Кузнецов Н. П. Особенности моделирования мощности ветроэлектрических станций / Н. П. Кузнецов. – М.: Альтернативная энергетика и экология. – 2014. – № 23. – С. 44 – 48.
11. Кузнецов Н. П. Вероятностные аспекты использования возобновляемых источников энергии на пустынных и непригодных для сельского хозяйства территориях / Н. П. Кузнецов, О. В. Лысенко // International Scientific and Practical Conference. World science. – ROST, 2017. – Т. 2. – № 7. – С. 45 – 51.
12. Кузнецов М. П. Вплив вітрової енергетики на статичну стійкість енергосистеми / М. П. Кузнецов // Відновлювана енергетика. – 2015. – № 3. – С. 24 – 30.
13. Кузнецов М. П. Гарантовані рівні участі ВЕС в покритті потужності енергосистеми // Відновлювана енергетика. – 2015. – № 1. – С. 43 – 48.
14. Кузнецов М. П. Деякі особливості автономної роботи вітрової та сонячної електростанцій / М. П. Кузнецов // Відновлювана енергетика. – 2016. – № 2. – С. 57 – 61.
15. Кузнецов М. П. Методи оцінки випадкових параметрів роботи енергосистем з інтегрованими вітровими електростанціями / М. П. Кузнецов // Відновлювана енергетика – 2014. – № 1. – С. 59 – 64.
16. Кузнецов М. П. Моделювання спільної роботи вітрової та сонячної електростанцій / М. П. Кузнецов // Відновлювана енергетика. – 2016. – № 1. – С. 12 – 16.
17. Кузнецов М. П. Особливості моделювання потужності вітрових електростанцій, розташованих на обмеженій території / М. П. Кузнецов // Відновлювана енергетика. – 2014. – № 4. – С. 57 – 61.
18. Кузнецов М. П. Фактори впливу вітрової енергетики на стійкість енергосистеми / М. П. Кузнецов // Відновлювана енергетика. – 2015. – № 2. – С. 51 – 55.
19. Кузнецов М. П. Імовірнісні аспекти використання відновлюваних джерел енергії в зоні відчуження Чорнобильської АЕС / М. П. Кузнецов, С. О. Ужейко // Відновлювана енергетика – 2016. – № 3. – С. 6 – 12.
20. Павловський В. В. Обмеження потужності відновлюваних джерел енергії за умовами приєднання до електричної мережі / В. В. Павловський, Л. М. Лук’яненко, І. С. Гончаренко, А. М. Захаров // Праці Інституту електродинаміки Національної академії наук України. – 2016. – Вип. 43. – С. 18 – 23.
21. Павловський В. В. Дослідження стійкості режимів енергосистем з потужними сонячними та вітроелектростанціями. Методологічні питання / В. В. Павловський, О. В. Ленґа, М. В. Вишневський. – 2012. – 22 с. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [www.dmcc.com.ua](http://www.dmcc.com.ua).
22. Павловський В. В. Стохастичне моделювання режимів вітрових електростанцій / В. В. Павловський, Л. М. Лук’яненко, А. О. Стелюк, І. С. Гончаренко, О. В. Ленґа // Відновлювана енергетика. – 2013. – № 1. – С. 58 – 68.
23. Полищук С. В. Исследование корреляционной взаимосвязи нагрузок энергосистем и стохастически периодических метеофакторов / С. В. Полищук, Н. В. Приймак // Техническая электродинамика. – 1991. – № 1. – С. 98 – 103.
24. СОУ-Н МЕВ 40.1.00100227-68:2012 Стійкість енергосистеми. Керівні вказівки. НТЦЕ НЕК Укренерго. Введ. в дію 21.10.2012 – 36 с.

### **Підрозділ 2.8.**

1. Polski rynek OZE w pigułce. – Електронний ресурс. Режим доступу: <http://swiatoze.pl/polski-rynek-oze-pigulce>.
2. Trela M. Porównanie systemów wsparcia odnawialnych źródeł energii w Polsce: zielone certyfikaty vs system aukcyjny, na przykładzie instalacji PV. / M. Trela, A. Dubel // Polityka energetyczna – energy policy journal. – 2017. – Nr 2, T. 20. – С. 105 – 116.
3. Dotacje OZE w nowej perspektywie 2014 – 2020 szansą dla rozwoju biogazowni w Polsce. – Електронний ресурс. Режим доступу: <http://magazynbiomasa.pl/dotacje-oze-w-nowej-perspektywie-2014-2020-szansa-dla-rozwoju-biogazowni-w-polsce>.
4. Гергардт И. Система переработки отходов и производства удобрений и биогаза для животноводческих хозяйств. – Електронний ресурс. Режим доступу: <http://www.gerhardt.com.ua/index.php?showtopic=45312>.
5. Гумінові кислоти, їх склад, застосування та вплив на рослини. – Електронний ресурс. Режим доступу: <https://agroexp.com.ua/uk/guminovyie-kisloty>.
6. Біогаз. – Електронний ресурс. Режим доступу: [http://www.reee.org.ua/download/trainings/%D0%A2%D0%9C\\_7.pdf](http://www.reee.org.ua/download/trainings/%D0%A2%D0%9C_7.pdf).
7. Kotowski W. Gigawat Energia / Kotowski W., Konopka E. // Zbiurka Prac Energetycznych 07.07.2008. – 2008. – S. 23 – 28.
8. Gerd Eisenbeifi. Program w dziedzinie energetyki / Gerd Eisenbeifi. – Niemiecki Instytut Badawczy do spraw Lotnictwa i Lotów Kosmicznych (DLR). – S. 12 – 18.
9. Soliński J. Sytuacja energetyczna świata w świetle obrad 15 Kongresu Światowej Rady Energetycznej w Madrycie / Soliński J. // Energetyka. – 1993. – Nr 2. – S. 12 – 15.
10. Szlachta J. Opłacalności produkcji biopaliwa z rzepaku na przykładzie agrorafinerii “Jawrol” / Szlachta J. // Inżynieria Rolnicza. – 2006. – Nr 11 (86). – S. 463 – 469.
11. Dubas J.W. Wierzba energetyczna – uprawa i technologia przetwarzania / Dubas J. W., Kotowski W., Tomczyk A. – Bytom: Wydawca Wyższa Szkoła Ekonomii i Administracji w Bytomiu, 2004. – S. 10 – 13.
12. Institut für Energetik und Umwelt gGmbH we współpracy z Bundesforschung-sanstalt für Landwirtschaft Institut für Technologie und Biosystemtechnik (Instytut Technologii i Bio-techniki) Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. – Warszawa, 2009. – S. 10 – 11. – (tłumaczenie: EC BREC IEO).
13. Stolarski M. Koszty likwidacji plantacji wierzby krzewiastej / M. Stolarski, R. Kisiel, S. Szczukowski, J. Tworkowski // Roczniki nauk rolniczych, Seria G. – 2008. – T. 94, z. 2. – P. 172 – 177.

### **Підрозділ 2.9.**

1. AENIOM – The European Biomass Association, Statistical Report. 2016 – European Bioenergy Outlook-Key Findings, Bioheat. Overview. 2016. Mode of access: WWW.URL: <http://www.aebiom.org/wp-content/uploads/2016/12/AEBIOM-KEY-FINDINGS-REPORT.2016.pdf>.
2. Бунецький В. Особливості виробництва пелет в Україні. Економічні аспекти [Електронний ресурс] / В. Бунецький. – Режим доступу : <http://sae.gov.ua/sites/default/files/Osoblyv%20v%20Ukrayin20aspekty%60.pdf>.
3. Гелетуґа Г. Комплексний аналіз українського ринку пелет з біомаси [Електронний ресурс] / Г. Гелетуґа, В. Крамар, О. Епик, Т. Антошук, В. Тітков. – Режим доступу : [http://bioenergy.in.ua/media/filer\\_public/4a/02/4a0236b5-a30b-4167-8c3b7fd4bcae8926/kompleksnii\\_analiz\\_ukrayinskogo\\_rinku\\_pelet\\_z\\_biomasi.pdf](http://bioenergy.in.ua/media/filer_public/4a/02/4a0236b5-a30b-4167-8c3b7fd4bcae8926/kompleksnii_analiz_ukrayinskogo_rinku_pelet_z_biomasi.pdf).
4. Корінчук Д. М. Потенціал та характеристики твердих біопалив з торфу і біомаси як енергетичного ресурсу України [Текст] / Д. М. Корінчук // ОБВК (ОТОПЛЕНИЕ. ВОДОСНАБЖЕНИЕ. ВЕНТИЛЯЦИЯ. КОНДИЦИОНЕРЫ). – 2012. – № 6. – С. 58 – 63.
5. Національний план дій з відновлюваної енергетики на період до 2020 року, затверджено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 1 жовтня 2014 р. № 902-р [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/902-2014-%D1%80>.
6. Снежкін Ю. Ф. Теплотехнічні характеристики твердих біопалив з торфу і біомаси як енергетичного ресурсу малої енергетики / Ю. Ф. Снежкін, Д. М. Корінчук // Промышленная теплотехника. – 2012. – Т. 34. – № 6. – С. 71 – 77.

### **Підрозділ 2.10.**

1. Амерханов Р. А. Оптимизация сельскохозяйственных энергетических установок с использованием возобновляемых видов энергии. – М.: КолосС, 2003. – 532 с. – с. 39.
2. Афонченкова Т. М. Економічна доцільність застосування комбінованих автономних енергосистем у сільськогосподарському виробництві / Науковий вісник Міжнародного гуманітарного університету № 2, 2016 р., 169 с. С. 42 – 45.
3. Гелетуґа Г. Г., Железна Т. А., Голубовська-Онісімова Г. М., Конеченков А. Є. Огляд відновлюваних джерел енергії в сільському та лісовому господарстві України <[http://biomass.kiev.ua/Assets/files/AgPP6\\_U.pdf](http://biomass.kiev.ua/Assets/files/AgPP6_U.pdf).
4. Дячук О. А., Чепелев М. Г., Подолець Р. З., Трипольська Г. С. та ін. Перехід України на відновлювану енергетику до 2050 року. За заг. ред. Ю. Огаренко та О. Алієвої // Пред-во Фонду ім.Г.Бюлля в Україні. – Київ : Вид-во ТОВ “АРТ КНИГА”, 2017. – 88 с.
5. Енергоефективність: місцеві партнерські ініціативи. – Режим доступу: <http://eef.org.ua/programi/energoefektivnist-ta-ekologiya/energoefektyvnist-mistsevi-partnerski-initsiatyvy>.

6. Калетнік Г. М., Кулик М. Ф., Петриченко В. Ф. Основи перспективних технологій виробництва продукції тваринництва; за заг. Ред. Калетніка Г. М. – Вінниця : “Енозіс”, 2007. – 584 с. – с. 79.
7. Клименко В. Н., Мазур А. И., Сабашук П. П. Когенерационные системы с тепловыми двигателями: справочное пособие. – В 3-х частях; под ред. А. И. Мазура; Ин-т прикладных исслед. в энергетике. – К.: ИПЦ АЛКОН НАН Украины, 2008. – с. 297.
8. Концепція Державної цільової економічної програми впровадження в агропромислому комплексі новітніх технологій виробництва сільськогосподарської продукції на період до 2016 р.
9. Корчемний М., Федорейко В., Щербань В. Енергозбереження в агропромислому комплексі; Терноп. держ. пед. ун-т ім. В. Гнатюка, Нац. наук. центр “Ін-т механізації та електрифікації сіл. госп-ва”. – Т.: Підруч. & посіб., 2001. – 974 с. – с. 600.
10. Кучеренко І. Б. Економічна оцінка енергозберігаючих технологій і машин у свинарстві. Вісник Полтавського державного сільськогосподарського інституту 2000 р. № 3.
11. Мазур К. В. Розвиток альтернативної енергетики в АПК / Збірник наукових праць ВНАУ № 1 (56). Том 2, 2012, с.181 – 186.
12. Отримання безкоштовної електрики. – Режим доступу: <http://www.energy-village.in.ua/index.php?form=About>.
13. Пасіка і сонце 2013 р. – Режим доступу: [http://www.dossier.org.ua/sites/default/files/a4\\_1\\_sun\\_2013\\_1.pdf](http://www.dossier.org.ua/sites/default/files/a4_1_sun_2013_1.pdf).
14. Півняк Г. Г., Шкрабець Ф. П.; Альтернативна енергетика в Україні: монографія / Нац. гірн. ун-т. Д.: НГУ, 2013. – 109 с. ISBN 978-966-350-445-2. – Режим доступу: <http://ir.nmu.org.ua/bitstream/handle/123456789/3498/CD274.pdf?sequence>.
15. Русан В. И. Резервы энергетических ресурсов в АПК № 11 (79) 2008. – Режим доступу: <http://agriculture.by/?p=872>.
16. Сільське господарство України за 2016 рік. Статистичний збірник. – Режим доступу: [www.ukrstat.gov.ua](http://www.ukrstat.gov.ua).
17. Сонячна електростанція в селі – ініціатива фермера. 2013 р. – Режим доступу: [http://www.dossier.org.ua/sites/default/files/a4\\_1\\_sun\\_2013\\_2.pdf](http://www.dossier.org.ua/sites/default/files/a4_1_sun_2013_2.pdf).
18. Renewable Energy and Agriculture: A Natural Fit. – Режим доступу: [https://www.ucsusa.org/clean\\_energy/smart-energy-solutions/increase-renewables/renewable-energy-and.html#.Wp57DdspJPY](https://www.ucsusa.org/clean_energy/smart-energy-solutions/increase-renewables/renewable-energy-and.html#.Wp57DdspJPY).

### Підрозділ 2.11.

1. Kuzminskiy Y. Bioelectrochemical hydrogen and electricity production. Theoretical bases, description and modeling of the process / Y. Kuzminskiy, K. Shchurska, I. Samarukha, G. Łagod. – Monographic, Lublin: Politechnika Lubelska, 2013. – 102 p.
2. Kuzminskiy Y. Different types of energy conversion biohydrogen production processes // Kuzminskiy Y., Shchurska K., Samarukha I, Łagod G. // Proceedings of ECoPole. – 2011. – Vol.5. – № 1. – P. 389 – 395.
3. Zubchenko L. Characteristics of biofilm formation process in the bioelectrochemical systems, working in batch-mode of cultivation / L. Zubchenko, Ye. Kuzminskiy // Chem. Chem. Technol. – 2017. – Vol. 11. – №. 1. – P. 105 – 110.
4. Біотехнологічне отримання енергії та енергоносіїв з відходів різноманітного походження: звіт про НДР (заключн.) / НТУУ “КПІ”; керівн. Є. В. Кузьмінський. – Київ, 2012. – 169 с. – № ДР 0111U000672.
5. Біотехнологія очищення стічних вод різноманітного походження з одночасним одержанням електрики: звіт про НДР (заключн.) / НТУУ “КПІ”; керівн. Є. В. Кузьмінський. – Київ, 2010. – 253 с. – № ДР 0109U000974.
6. Дослідження процесів біодеструкції органічних відходів різноманітного походження для захисту довкілля на станції “Академік Вернадський”: звіт про НДР (заклучн.) / НТУУ “КПІ”; керівн. Є. В. Кузьмінський. – Київ, 2013. – 120 с. – № ДР 0113U005685.
7. Козар М. Ю. Очищення стічних вод солодового заводу з одержанням біоводню / М. Ю. Козар, К. О. Щурська, Л. А. Саблій, Є. В. Кузьмінський // Східно-європейський журнал передових технологій. – 2013. – Т. 6, № 66. – С. 33 – 36.
8. Кузьмінський Є. В. Біоелектрохімічне продукування електричної енергії та водню: монографія / Є. В. Кузьмінський, К. О. Щурська, І. А. Самаруха. – К.: “Видавничий дім “Комп’ютер-прес”, 2012. – 226 с.
9. Отримання енергоносіїв з відходів виробництва біодизельного палива, промислових стоків, мікроводорості *Chlorella vulgaris* та відходів її культивування: звіт про НДР (заклучн.) / КПІ ім. Ігоря Сікорського; керівн. Є. В. Кузьмінський. – Київ, 2016. – 194 с. – № ДР 0115U000399.
10. Патент України на корисну модель № 81251 Спосіб біологічного очищення стічних вод / Гвоздяк П. І., Кузьмінський Є. В., Саблій Л. А., Жукова В. С. – опубл. 25.05.13, Бюл. № 12.
11. Патент України на винахід № 94856 Спосіб біологічного очищення стічних вод / Саблій Л. А., Кузьмінський Є. В., Гвоздяк П. І., Жукова В. С. – опубл. 10.06.2011, Бюл. № 11.
12. Патент України на корисну модель № 56617 Спосіб отримання електричної енергії за допомогою мікробного паливного елемента / Голуб Н. Б., Кузьмінський Є. В., Андруховець В. М. – опубл. 25.01.2011, Бюл. № 2.
13. Патент України на корисну модель № 61650 Пристрій для аеробного біологічного очищення стічних вод / Кузьмінський Є. В., Саблій Л. А., Жукова В. С. – опубл. 25.07.2011, Бюл. № 14.
14. Патент України на корисну модель № 69274 Проточний мікробний паливний елемент із мобільними електродними блоками / Самаруха І. А., Кузьмінський Є. В., Щурська К. О. – опубл. 25.04.2012, Бюл. № 9.
15. Патент України на корисну модель № 70203 Спосіб біологічного очищення стічних вод з використанням гранульованого активного мулу / Кузьмінський Є. В., Саблій Л. А., Жукова В. С., Козар М. Ю. – опубл. 25.05.2012, Бюл. № 10.

16. Патент України на корисну модель № 97747 Спосіб аеробного біологічного очищення стічних вод / Кузьмінський С. В., Саблій Л. А., Жукова В. С. – опубл. 12.03.2014.

17. Саблій Л. А. Фізико-хімічне та біологічне очищення висококонцентрованих стічних вод: Монографія. – Рівне: НУВГП, 2013. – 292 с.

18. Фотобіоелектрохімічна конверсія відходів і біосировини з одержанням електричної енергії та енергоносіїв: звіт про НДР (заключн.) / НТУУ “КПІ” ; керівн. С. В. Кузьмінський. – Київ, 2014. – 174 с. – № ДР 0113U001650.

### **Підрозділ 2.12.**

1. Philip Eriksson. The Potential of Biogas as Vehicle Fuel in Europe – A Technological Innovation Systems Analysis of the Emerging Bio-Methane Technology. Report No. 2007:6, ISSN: 1404-8167 / Philip Eriksson, Martin Olsson. – Göteborg, Sweden, 2007. – 137 p.

2. Li Dong. Guangzhou Institute of Energy Conversion, CAS XIXth. Scientific Energy Management and Innovation Seminar Esztergom / Li Dong // Biomass Energy Research Center. 10th May, 2012.

3. Current Potential Biogas Production. – електронний ресурс. – режим доступу : <http://www.americanbiogascouncil.org/pdf/biogas101.pdf>.

4. Новітні технології біоконверсії : Монографія / [Я. Б. Блюм, Г. Г. Гелетука, І. П. Гртрорук, В. О. Дубровін та ін.]. – К. : Аграр Медія Груп, 2010. – 326 с.

5. Матвеев Ю. Б. Обзор биогазовых проектов в Украине и перспективы их развития / Ю. Б. Матвеев // “Биогаз – шанс для енергетичної незалежності України і її європейської інтеграції” Київ, 22 листопада 2012 р. – 20 с.

6. Виробництво і використання біогазу в Україні / [Р. Шульц, Ю. Кооп, Ж. Хоххі, Дж. Фултон, Х. Парсон, В. Ребок, М. Ільчук]. За ред. Р. Шульца. – Київ : Бізнесцентр “Євразія”, 2012. – 74 с.

7. Weiland, P. Status of Biogas Upgrading in Germany / P. Weiland // IEA Task 37 Workshop “Biogas Upgrading” Tulln, October 8, 2009. – 22 p.

8. Економічне використання енергоресурсів у сільськогосподарському виробництві / В. Г. Бебко, С. Я. Меженний, В. Г. Стафійчук, В. Ф. Юрчук. – К.: Урожай, 1991. – 144 с.

9. Мамедов М. Д. Работа дизеля на сжиженном газе. – М.: Машиностроение, 1980. – 149 с.

10. Enter the tractor with a bottle on top. – Farmers Weekly, 1982. – № 1. – P. 69.

11. Michelle Ekman. Swedish Biogas: Figures today – potential tomorrow / Michelle Ekman // Swedish Gas Association. 2012 – 09 – 18.

12. Alicia Milner. Canadian Natural Gas Vehicle Alliance. Biogas for Transportation / Alicia Milner // A. Canadian Perspective Growing the Margins Conference March 12th, 2009. – 14 p.

13. Riipinen, T. Valtra Dual Fuel Biogas Tractor / T. Riipinen, A. Chantrelle // Biogaz Europe. Nantes, France. – 25 – 26 October 2011.

14. Weiland, P. Status of Biogas Upgrading in Germany / P. Weiland // IEA Task 37 Workshop “Biogas Upgrading” Tulln, October 8, 2009. – 22 p.

15. Seidenberg, Petra. Experiences in using biogas as vehicle fuel in Germany / Petra Seidenberg // Regional seminar, Tartu, Estonia, 14th of August 2012. – 25 p.

16. Boisen, Peter. Expanding use of Biomethane in Europe and beyond: The policies driving this trend / Peter Boisen // European Natural Gas Vehicle Association 2008-01-24. – 15 p.

17. EU Biofuels annual. 6/21/2017. 44 p.

18. Biogasgewinnung und – nutzung. Handreichung. – Institut fur Energetik und Umwelt gGmbH. 3., uberarbeitete Auflage, Gulzow, 2006. – 232 p.

### **Підрозділ 2.13.**

1. Адамчук В. В. Основні принципи реалізації теплозабезпечення сільських територій на основі місцевого палива / В. В. Адамчук // Земля України – потенціал продовольчої, енергетичної та екологічної безпеки держави. – 2014. – Т. 2. – С. 136 – 138.

2. Біоенергетичні селища допоможуть вирішити питання енергетичної безпеки [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://ecotown.com.ua/news/Bioenerhetychni-selyshcha-dopomozhut-vyrishyty-pytannya-enerhetychnyi-bezpeky-Ukrayiny>.

3. Биба В. В. Енергозбереження в Україні: проблеми та перспективи / В. В. Биба, О. М. Кулініч // Інвестиції: практика та досвід. – 2014. – № 12. – С. 73 – 76.

4. Бизнес-модель и финансирование проектов биоэнергетических деревень. Леся Матиюк [Електронний ресурс]. – Презентаційний матеріал. – Режим доступу: [http://sae.gov.ua/sites/default/files/5-Business\\_model.pdf](http://sae.gov.ua/sites/default/files/5-Business_model.pdf).

5. “Енергетичний патріотизм” для малих громад. Олег Левченко [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://sae.gov.ua/sites/default/files/2\\_Levchenko\\_3.pdf](http://sae.gov.ua/sites/default/files/2_Levchenko_3.pdf).

6. Єрмак С. О. Дослідження зарубіжного досвіду та перспектив використання відновлювальних джерел енергії в Україні / С. О. Єрмак, О. В. Бугаєнко // Торговля і ринок України: темат. зб. наук. пр. – Кривий Ріг: ДонНУЕТ, 2016. – Вип.39. – С.28 – 36.

7. Єфімцева Л. О. Енергетична безпека в Україні: суть, походження та перспективи / Л. О. Єфімцева // Економіка АПК. – 2014. – № 5. – С. 85 – 92.

8. Замковий О. Як Україні стати енергонезалежною. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://nv.ua/ukr/opinion/zamkovoy/jak-ukrajini-stati-energnezalezhoju-181073.html>.

9. Как спроектировать биоэнергетическую деревню? – разработка сценария на примере г. Боярка. Леся Матиюк [Електронний ресурс]. – Презентаційний матеріал. – Режим доступу: [http://saee.gov.ua/sites/default/files/9\\_Matiyuk.pdf](http://saee.gov.ua/sites/default/files/9_Matiyuk.pdf).
10. Конеченков А. Е. Перспектива развития возобновляемой энергетики в Украине / А. Е. Конеченков // Винахідник і раціоналізатор. – 2015. – № 2. – С. 8 – 9.
11. Кучерявий В. П. Запровадження “зеленого” тарифу – запорука екологічної та економічної безпеки / В. П. Кучерявий // Земля України – потенціал продовольчої, енергетичної та екологічної безпеки держави. – 2014. – Т. 2. – С. 40 – 42.
12. Матвійчук Л. Ю. Економічна доцільність використання альтернативних джерел енергії / Л. Ю. Матвійчук, Б. П. Герасимчук // Економічний форум. – 2013. – № 4. – С. 12 – 16.
13. Роїк М. В. Агропромислові енергетичні плантації – майбутнє України / М. В. Роїк, О. Г. Ягольник // Біоенергетика. – 2015. – № 2. – С. 4 – 7.
14. Стан та перспективи розвитку біоенергетики. Юрій Шафаренко. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://saee.gov.ua/sites/default/files/8\\_Bioenergy\\_Shafarenko\\_2.pdf](http://saee.gov.ua/sites/default/files/8_Bioenergy_Shafarenko_2.pdf).
15. Створення енергетичних кооперативів в Україні: юридичні аспекти. Анна Пастух [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://saee.gov.ua/sites/default/files/6\\_EC\\_Pastukh.pdf](http://saee.gov.ua/sites/default/files/6_EC_Pastukh.pdf).
16. Схема біогазової установки [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.biteco-energy.com/ua/biogazovye-ustanovki-3>.
17. ЭКОТЕНК [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://ekotenk.com.ua>.
18. USELF [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.uself.com.ua>.

#### Підрозділ 2.14.

1. Автоматизація технологічних процесів і системи автоматичного керування: Навчальний посібник / Барало О. В., Самойленко П. Г., Гранат С. Є., Ковальов В. О. – К.: Аграрна освіта, 2010. – 557 с.
2. Федоренко А. А., Мартиненко А. В. Проблеми енергозбереження при створенні нормативних параметрів мікроклімату робочої зони приміщень підприємств. // Електронний науковий журнал “Технології та дизайн”. – № 4 (9) – К.: КНУТД, 2013.
3. Міжнародне законодавство з охорони праці. У трьох томах. [упорядник: Теличко Е. М.]. Т. 1. – К.: Основа, 1997. – 672 с.
4. Накоряков В. Е., Елистратов С. Л. Экологические аспекты применения парокомпрессионных тепловых насосов // Изв. РАН. Энергетика. 2007. – № 4. – С. 76 – 83.
5. Хайнрих Г. Теплонасосные установки для отопления и горячего водоснабжения / Г. Хайнрих, Х. Найорк, В. Нестлер – М.: Стройиздат, 1985. – 351 с.
6. Ткаченко С. Й. Парокомпресійні теплонасосні установки в системах тепlopостачання. : моног. / С. Й. Ткаченко, О. П. Остапенко. – Вінниця: ВНТУ, 2009. – 176 с.
7. Соколов Е. Я., Бродянский В. М. Энергетические основы трансформации тепла и процессов охлаждения. – М.: Энергоиздат, 1981. – 320 с.
8. Явнель Б. К. / Курсовое и дипломное проектирование холодильных установок и установок кондиционирования воздуха. 3-е изд., перераб и доп – М.: Агропромиздат, 1989. – 223 с.
9. Басок Б. І., Беляєва Т. Г., Коба А. Р., Недбайло О. М., Ткаченко М. В., Хибина М. А., Луніна А. О., Кочешев І. О., Ніколаєнко Ю. Є. Комплексна модернізація типової системи тепlopостачання будівлі на основі використання теплового насосу типу “повітря-вода” / Промышленная теплотехника. – Т. 26, № 5. – К.: Ін-т технічної теплофізики НАН України, 2004. – 160 с.

#### Список використаних джерел до розділу 3.

##### Підрозділ 3.1.

1. Білявський Г. О. Основи загальної екології / Г. О. Білявський, М. М. Падун, Р. С. Фурдуй. – К.: Либідь, 1993. – 304 с.
2. Біоенергетична оцінка сільськогосподарського виробництва (науково-методичне забезпечення) / [Ю. О. Тараріко, О. Ю. Несмашна, О. М. Бердніков, Л. Д. Глущенко, Г. І. Личук та ін.]. – К.: Аграрна наука, 2005. – 200 с.
3. Голицын Г. А. Гармония алгебра живого / Г. А. Голицын, В. М. Петров. – М.: Знание, 1990. – 129 с.
4. Гришко В. В. Енергозбереження в сільському господарстві (економіка, організація, управління) / В. В. Гришко, В. І. Перебийніс, В. М. Рабштина. – Полтава: ВАТ “Видавництво “Полтава”, 1996. – 280 с.
5. Калініченко О. В. Теоретична сутність категорій “енергетична ефективність” та “енергетична ефективність у рослинництві” / О. В. Калініченко // Економіка АПК. – 2018. – № 10. – С. 86 – 95.
6. Коваленко М. П. Енергозбереження – пріоритетний напрямок державної політики України / М. П. Коваленко, С. П. Денесюк. – К.: УЕЗ, 1998 – 506 с.
7. Коврига В. В. Споживання паливно-енергетичних ресурсів у сільськогосподарських підприємствах / В. В. Коврига // Економіка АПК. – 2002. – № 1. – С. 34 – 41.
8. Колотило Д. М. Екологія і економіка : навч. посібник / Д. М. Колотило. – К.: КНЕУ, 1999. – 368 с.
9. Медведовський О. К. Енергетичний аналіз інтенсивних технологій в сільськогосподарському виробництві / О. К. Медведовський, П. І. Іваненко. – К.: Урожай, 1988. – 208 с.

10. Панус О. В. Модель затрат енергії в сільськогосподарському виробництві / О. В. Панус // *Економіка сільськогосподарського господарства*. – 1983. – № 12. – С. 37 – 40.

11. Технологічні процеси галузей промисловості: навч. посібник / Д. М. Колотило, А. Т. Соколовський, С. В. Гарбуз; За наук. ред. Д. М. Колотило, А. Т. Соколовського. – К. : КНЕУ, 2003. – 380 с.

### **Підрозділ 3.2.**

1. Агроекологія : [підручник] / А. М. Фесенко, О. В. Солошенко, Н. Ю. Гаврилович, Л. С. Осипова, В. В. Безпалько, С. І. Кочетова; за ред. О. В. Солошенка, А. М. Фесенко. – Харків, 2013. – 291 с.

2. Біоенергетична оцінка сільськогосподарського виробництва (науково-методичне забезпечення) / [Ю. О. Тараріко, О. Ю. Несмашна, О. М. Бердніков, Л. Д. Глущенко, Г. І. Личук та інші]. – К. : Аграрна наука, 2005. – 200 с.

3. Гришко В. В. Енергозбереження в сільському господарстві (економіка, організація, управління) / В. В. Гришко, В. І. Перебийніс, В. М. Рабштина. – Полтава : ВАТ “Видавництво “Полтава”, 1996. – 280 с.

4. Дивнич А. В. Влияние факторов производства на эффективность землепользования сельскохозяйственных предприятий / А. В. Дивнич // *Экономические стратегии*. – 2014. – № 4. – С. 114 – 117.

5. Калініченко О. В. Використання енергії в процесі виробництва продукції рослинництва / О. В. Калініченко // *Агросвіт*. – 2018. – № 23. – С. 10 – 17.

6. Калініченко А. В. Энергетическая оценка эффективности производства гибридов сахарной свеклы / А. В. Калініченко // *Технологический аудит и резервы производства*. – 2012. – № 2(4) – С. 31 – 35.

7. Калініченко О. В. Економіка підприємства. Практикум : [навчальний посібник] / О. В. Калініченко, О. Д. Плотник. – К. : Кондор, 2012. – 600 с.

8. Калініченко О. В. Методичні засади оцінки енергетичної ефективності виробництва продукції рослинництва / О. В. Калініченко // *Облік і фінанси*. – 2016. – №2 (72) – С. 150 – 155.

9. Калініченко О. В. Особливості енергоспоживання в рослинництві / О. В. Калініченко // *Бізнес Інформ*. – 2017. – № 6. – С. 123 – 129.

10. Медведовський О. К. Енергетичний аналіз інтенсивних технологій в сільськогосподарському виробництві / О. К. Медведовський, П. І. Іваненко. – К. : Урожай, 1988. – 208 с.

11. Стельмашук А. М. Економічний механізм прискорення інтенсифікації виробництва в АПК / А. М. Стельмашук. – К. : Урожай. – 1990. – 160 с.

### **Підрозділ 3.3.**

1. Біоенергетична оцінка сільськогосподарського виробництва (науково-методичне забезпечення) / [Ю. О. Тараріко, О. Ю. Несмашна, О. М. Бердніков, Л. Д. Глущенко, Г. І. Личук та інші]. – К. : Аграрна наука, 2005. – 200 с.

2. Буга В. К. Энергоемкость сельскохозяйственной продукции : [монография] / В. К. Буга, Г. Ф. Добыш, А. А. Мицкевич. – Минск : Ураджай, 1992. – 128 с.

3. Гришко В. В. Енергозбереження в сільському господарстві (економіка, організація, управління) / В. В. Гришко, В. І. Перебийніс, В. М. Рабштина. – Полтава : ВАТ “Видавництво “Полтава”, 1996. – 280 с.

4. Калініченко О. В. Класифікація рівнів енергетичної ефективності виробництва продукції рослинництва / О. В. Калініченко // *Стратегія збалансованого використання економічного, технологічного та ресурсного потенціалу країни: зб. наук. праць II між нар. наук.-практ. конф. 1 червня 2016 р. (ПДАТУ, м. Кам'янець-Подільський)*. Тернопіль: Крок, 2016. – С. 128 – 130.

5. Калініченко О. В. Методичні засади оцінки енергетичної ефективності виробництва продукції рослинництва / О. В. Калініченко // *Облік і фінанси*. – 2016. – № 2. – С. 150 – 155.

6. Медведовський О. К. Енергетичний аналіз інтенсивних технологій в сільськогосподарському виробництві / О. К. Медведовський, П. І. Іваненко. – К. : Урожай, 1988. – 208 с.

7. Пастухов В. І. Енергетична оцінка механізованих технологій рослинництва. Методи і результати / В. І. Пастухов. – Харків : Ранок-НТ, 2003. – 100 с.

8. Стельмашук А. М. Економічний механізм прискорення інтенсифікації виробництва в АПК / А. М. Стельмашук. – К. : Урожай. – 1990. – 160 с.

### **Підрозділ 3.4.**

1. Будзяк О. С. Деградація та заходи ревіталізації земель України / О. С. Будзяк // *Землеустрій, кадастр і моніторинг земель*. – 2014. – № 2 – С. 57 – 64.

2. Довкілля Рівненщини за 2016 рік: Статистичний збірник. – Рівне: Головне управління статистики у Рівненській області, 2017. – 92 с.

3. Дорош Й. М. Окремі аспекти формування та державної реєстрації еколого-технологічних обмежень у використанні земель / Й. М. Дорош, І. П. Купріянич // *Землеустрій, кадастр і моніторинг земель*. – 2017. – № 1. – С. 13 – 20.

4. Концепція інтегрованого управління екологічним ризиком деградації ґрунтів / Нац. акад. аграр. наук України, Нац. наук. центр “Ін-т ґрунтознавства та агрохімії ім. О. Н. Соколовського” [та ін.]; за наук. ред. С. А. Балюка – д-ра техн. наук, проф., акад. НААН, М. І. Ромашенка – д-ра с.-г. наук, проф., акад. НААН; [розроб. концепції: О. А. Демидов та ін.]. – Х.: Міськдрук, 2012. – 49 с.



5. Орлов О. Л. Нові методи визначення теплотворної здатності гумусових речовин / О. Л. Орлов // Наукові записки державного природознавчого музею. – Львів, 2008. – Випуск 24. – С. 233 – 238.
6. Попова О. Л. Оцінка суспільних збитків і розміру відшкодування за погіршення якості сільськогосподарських земель / О. Л. Попова // Економіка України. – 2013. – № 3 (616). – С. 47 – 56.
7. Odum Howard T. Environmental accounting: EMERGY and environmental decision making. N.-Y., 1996. – 370 с.

### Підрозділ 3.5.

1. Амонс С. Е. Энергоощадні технології виробництва продукції рослинництва в умовах трансформації земельних відносин / С. Е. Амонс // Економіка. Фінанси. Менеджмент: актуальні питання науки і практики. – 2017. – № 9. – С. 57 – 73.
2. Вронский В. А. Прикладная экология: учебн. пособие / В. А. Вронский. – Ростов н/Д.: Феникс, 1996. – 512 с.
3. Гордійчук А. С. Деякі економіко-екологічні проблеми агорарного природокористування на осушених землях / А. С. Гордійчук // Проблеми ринкової економіки України. – Рівне: УДАВГ, 1997. – С. 31 – 32.
4. Домуці Д. П. Энергозберігаючі технології виробництва продукції рослинництва / Д. П. Домуці, П. Д. Устюянов // Аграрний вісник Причорномор'я. – 2013. – Вип. 67. – С. 129 – 134.
5. Кувшинов Н. М. Пути решения проблемы энергоэффективности и электросбережения в сельскохозяйственных предприятиях / Н. М. Кувшинов, М. Н. Кувшинов // Вестник БГУ. – 2014. – № 3. – Режим доступу: <https://cyberleninka.ru/article/n/puti-resheniya-problemy-energoeffektivnosti-i-elektrosberezheniya-v-selskohozyaystvennyh-predpriyatiyah>.
6. Стахів О. А. Энергетичний підхід до організації землекористування / Я. А. Стахів, О. А. Стахів // Тези доповідей I Міжнародної науково-практичної конференції “Інституціоналізація процесів євроінтеграції: суспільство, економіка, адміністрування”, м. Рівне, 23 – 24 квітень 2016. – Рівне: НУВГП, 2016. – С. 263 – 265.
7. Технологія виробництва продукції рослинництва: навч. посіб. Ч. 2 / С. І. Мельник, О. Д. Муляр, М. Й. Кочубей, П. Д. Іванцов. – К.: Аграрна освіта, 2010. – 405 с.

### Підрозділ 3.6.

1. Современные ресурсосберегающие технологии производства растениеводческой продукции в Беларуси: сборник научных материалов. 2-е изд., доп. и перераб. / РУП “НПЦ НАН Беларуси по земледелию”. – Минск: ИВЦ Минфина. 2007. – 448 с.
2. Шило И. Н. Ресурсосберегающие технологии сельскохозяйственного производства / И. Н. Шило, В. Н. Дашков. Минск : БГАТУ, 2003. – 183 с.
3. Пестис В. К. Основы энергосбережения в сельскохозяйственном производстве / В. К. Пестис, П. Ф. Богданович, Д. А. Григорьев. – Мн.: ИВЦ Минфина, 2007. – 200 с.
4. Миндрин А. С. Энергоемкость сельскохозяйственного производства: теория, методология, оценка / А. С. Миндрин. – М.: Издательство ООО НИПКЦ “Восход-А”, 2009 – 388 с.
5. Организация сельскохозяйственного производства / Н. Н. Котковец, П. И. Малихтарович. – Минск: ИВЦ Минфина, 2016 – 598 с.

### Підрозділ 3.7.

1. Дидур В. А. Научное обоснование удельных расходов электроэнергии при очистке зерна методом математического планирования эксперимента / В. А. Дидур, Е. П. Масюткин, М. В. Постникова, В. А. Масловский // Праці інституту електродинаміки НАН України. – Київ, 2008. – Вип. 19. – С. 94 – 98.
2. Карпова О. П. Энергоемність як енергетична характеристика технологічного процесу очищення зерна / О. П. Карпова, М. В. Постнікова // Зернові продукти і комбікорми. – 2017. – № 4 (68). – С. 45 – 50.
3. Назарьян Г. Н. Методология перестройки сложной математической модели объекта исследования методом планирования математического эксперимента для анализа и решения задачи оптимизации объекта / Г. Н. Назарьян, А. П. Карпова, М. В. Постникова // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету: Наукове фахове видання. – Мелітополь: ТДАТУ. – Вип. 12, Т. 2. – 2012. – С. 93 – 105.
4. Постникова М. В. Обоснование норм расхода электроэнергии на поточных линиях зернопунктов методом суммарных мощностей / М. В. Постникова, А. П. Карпова // Энергосберегающие технологии производства и переработки сельскохозяйственной продукции / КАТУ. – Симферополь, 2006. – Вып. 93. – С. 60 – 64.
5. Постнікова М. В. Розробка науково-обґрунтованих норм енергоемності при обробці зерна на зернопунктах / М. В. Постнікова // Проблеми автоматизованого електроприводу. Теорія і практика: Вісник Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут”. Тематичний збірник наукових праць. – Харків, 2008. – № 30. – С. 511 – 512.
6. Постникова М. В. Энергосберегающие режимы работы электромеханических систем обработки зерна на зернопунктах : дис... канд. техн. наук: 05.09.03 / М. В. Постникова; ТГАТУ. – Мелітополь, 2011. – 189 с.
7. Постнікова М. В. Розрахунок мінімальних питомих витрат електроенергії на очищення посівного зерна на зернопунктах / М. В. Постнікова // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Технічні науки. Випуск 175 “Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України”. – Х.: ХНТУСГ, 2016. – Вип. 175. – С. 134 – 136.

### **Підрозділ 3.8.**

1. Національне положення (стандарт) бухгалтерського обліку 1 “Загальні вимоги до фінансової звітності”, затверджене наказом Міністерства фінансів України від 07.02.2013 № 73. Дата оновлення: 14.03.2017. URL: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/z0336-13> (дата звернення 06.04.2018).
2. Національний стандарт № 1 “Загальні засади оцінки майна і майнових прав”, затверджений постановою Кабінету Міністрів України від 10.09.2003 № 1440. Дата оновлення: 15.04.2015. URL: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/1440-2003-п> (дата звернення: 01.03.2018).
3. Маркс К. Капитал. Критика политической экономии. Т. 1. Кн. 1. Процесс производства капитала. Гос. изд-во полит. лит-ры. Москва, 1953. 794 с.
4. International Valuation Standards 2017: Redline Version. London: International Valuation Standards Council, 2017. 125 p.
5. Фридман Дж., Ордуэй Н. Анализ и оценка приносящей доход недвижимости. Москва: Дело Лтд, 1995. 480 с.
6. Прес-реліз Нобелівського комітету від 09.10.2012. URL: [https://www.nobelprize.org/nobel\\_prizes/economic-sciences/laureates/2002/press.html](https://www.nobelprize.org/nobel_prizes/economic-sciences/laureates/2002/press.html).
7. Прес-реліз Нобелівського комітету від 09.10.2017. URL: [https://www.nobelprize.org/nobel\\_prizes/economic-sciences/laureates/2017/press.html](https://www.nobelprize.org/nobel_prizes/economic-sciences/laureates/2017/press.html).
8. Кенэ Ф. Избранные экономические произведения. Москва: Соцэкгиз. 1960. 551 с.
9. Дивнич А. В., Дивнич О. Д. Стратегические аспекты внедрения производственных инноваций в развитие сельскохозяйственного землепользования в Украине. Инновационное и предпринимательское развитие национальной экономики в условиях глобализации: монография / под ред. Д. М. Мадияровой, М. О. Рыспековой. Астана: Евразийский национальный университет им. Л. Н. Гумилева, 2018. Гл. 3, разд. 3.9. С. 246 – 253. URL: <http://repository.enu.kz/bitstream/handle/data/13272/9.1.18%20МОНОГРАФИЯ%20%206Рыспекова.pdf?sequence=1> (дата звернення 25.02.2018).
10. Медведовський О. К., Іваненко П. І. Енергетичний аналіз інтенсивних технологій в сільськогосподарському виробництві. – Київ: Урожай, 1988. 208 с.
11. Гришко В. В., Перебийніс В. І., Рабштина В. М. Енергозбереження у сільському господарстві (економіка, організація, управління). Полтава, вид-во “Полтава”, 1996, 280 с.
12. Калініченко О. В. Оцінка і шляхи підвищення економічної та енергетичної ефективності виробництва цукрових буряків: автореф. дис. ... канд. екон. наук.: 08.00.04. Полтава, Полтав. держ. аграр. акад., 2011. 20 с.
13. Тараріко Ю. О., Несмашна О. Ю., Бердніков О. М., Глушенко Л. Д., Личук Г. І. та ін. Біоенергетична оцінка сільськогосподарського виробництва. Київ: Аграрна наука. 2005. 200 с.
14. Цивільний кодекс України: Закон від 16.01.2003 № 435-IV. Дата оновлення 07.03.2018. URL: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/435-15> (дата звернення: 01.03.2017).

### **Підрозділ 3.9.**

1. Василенко В. І. Системна ефективність функціонування енергетичної системи з керованими навантаженнями / В. І. Василенко // Енергетика. – 2015. – № 1. – С. 70 – 81. – Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/eete\\_2015\\_1\\_12](http://nbuv.gov.ua/UJRN/eete_2015_1_12).
2. Гнатюк В. І. Техника, техносфера, енергозбереження: Інтернетсайт. – М.: КИЦ “Техноценоз”, 2000 – 2012. – Режим доступу: <http://gnatukvi.ru/ind.html>.
3. Гнатюк В. І. Закон оптимального построения техноценозов [Монография] / В. И. Гнатюк. – 2-е изд., перераб. и доп. – Электронные текстовые данные. – Калининград: [Изд-во КИЦ “Техноценоз”], [2014]. – Режим доступа: <http://gnatukvi.ru/ind.html>.
4. Денисюк С. П. Оптимальне керування енергоспоживанням бюджетних організацій та установ як об’єктів техноценозу [Текст] / С. П. Денисюк, В. І. Василенко // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. Серія Технічні науки. – 2017. – № 5 (114). – С. 97 – 105.
5. ДСТУ ISO 13600-2001 Системи енергетичні технічні. Основні положення (ISO 13600:1997, IDT).
6. ДСТУ ISO 13601-2001. Системи енергетичні технічні. Структура для аналізу. Сектори постачання та споживання енергопродукту (ISO 13601:1998, IDT).
7. Кошарная Ю. В. Использование методов ценологического и кластерного анализа в энергоаудите промышленных предприятий / Труды VII-ой Международной научно-практической Интернет-конференции “Энерго- и ресурсосбережение XXI век” (МИК-2009). Орел. 2009.
8. Прокопчик В. В. Повышение качества электроснабжения и эффективности работы электрооборудования предприятий с непрерывными технологическими процессами. – Гомель: ГГТУ, 2002. – 283 с.
9. Федорова С. В. Применение техноценологического подхода к анализу электропотребления и энергосбережения предприятий Свердловской области / С. В. Федорова, А. П. Третьяков // Вестник ЮУрГУ. 2012. № 16. С. 92 – 97.
10. Кудрин Б. И. Ценологические основы управления электрическим хозяйством потребителя / Кудрин Б. И. // Промышленная энергетика. 2015. № 9. С. 38 – 46.

### **Підрозділ 3.10.**

1. Хачиян А. С. Использование природного газа в качестве топлива для автомобильного транспорта / А. С. Хачиян // Двигателестроение. – 2002. – № 1. с. 34 – 36.
2. Стативко В. Л. Формирование рынка альтернативных видов моторных топлив / В. Л. Стативко, А. В. Строганов // Газовая промышленность. – 2007. – № 4. – с. 17 – 19.

3. Statistical Review of World Energy 2015 [Електронний ресурс] // BP Global: [сайт]. [2015]. URL: <http://www.bp.com/en/global/corporate/energyeconomics/statistical-review-of-world-energy.html>.
4. Environmental implications of alternative – fueled automobiles: Air quality and greenhouse gas tradeoffs // Environ. Sci. and Technol. 2009. 34, № 2, с. 225 – 231. (ПЖ, ДВС, 2010, № 12, реф. 39).
5. Bosch dual-fuel – future of diesel engines. // gazeo.com: [сайт]. [2014]. URL: <http://gazeo.com/automotive/technology/Bosch-Dual-Fuel-future-of-diesel-engines,article,7831.html>.
6. Solaris diesel dual fuel. // <http://fuelfusion.pl/>: [сайт]. URL: <http://www.solarisdiesel.eu/ru/solaris-diesel-fuel-3>.
7. Valtra dual fuel tractors – The natural choice <http://valtra.com>: [сайт]. URL: [www.valtra.com/dual-fuel.aspx](http://www.valtra.com/dual-fuel.aspx).
8. М. О. Дикий, В. Г. Петренко, А. С. Соломаха, В. В. Рябов, Є. В. Устименко Газодизельна система живлення автомобільного двигуна з мікропроцесорним керуванням // Наукові нотатки (Міжвузівський збірник). – 2011. – Випуск 31. – с. 120 – 123.

### Підрозділ 3.11.

1. Житловий кодекс Української РСР від 30.06.1983 № 5464-Х [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://zakon0.rada.gov.ua/laws/show/5464-X>.
2. Закон України “Про об’єднання співвласників багатоквартирного будинку” від 29.11.2001 № 2866-III [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://zakon0.rada.gov.ua/laws/show/2866-14>.
3. Закон України “Про особливості здійснення права власності у багатоквартирному будинку” від 14.05.2015 № 417-VIII [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/417-19>.
4. Динамика роста цен на газ и электроэнергию для населения Украины с 2000 по 2012 год. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : [http://ion.biz.ua/ru/articles/dinamika\\_rosta\\_elektroenergiyu\\_naseleniya\\_ukrainy\\_2012\\_god](http://ion.biz.ua/ru/articles/dinamika_rosta_elektroenergiyu_naseleniya_ukrainy_2012_god).
5. Закон України “Про загальнодержавну програму реформування і розвитку житлово-комунального господарства на 2009 – 2014 роки” від 24.06.2004 р. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://zakon1.rada.gov.ua/laws/show/1869-15>.
6. Кузьмин М. 9 фактів про систему субсидій в Україні і “справжню” ціну газу для населення / М. Кузьмин. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://voxukraine.org/2016/06/07/9-faktiv-pro-sytemu-subsidij>.
7. Механізм субсидій має стимулювати споживача підвищувати енергоефективність власного житла і знижувати обсяги споживання газу – урядовці, депутати, експерти [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://uacrisis.org/ua/43443-mehanizm-subsidij>.
8. Офіційний сайт Держенергоефективності України [Електронний ресурс] – Режим доступу : <http://saee.gov.ua>.
9. Постанова КМУ “Про новий розмір витрат на оплату житлово-комунальних послуг, придбання скрапленого газу, твердого та рідкого пічного побутового палива у разі надання житлової субсидії” від 27 липня 1998 р. N 1156 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/1156-98-%D0%BF>.
10. Постанова КМУ “Про внесення змін до постанов Кабінету Міністрів України від 1 березня 2010 р. № 243 і від 17 жовтня 2011 р. № 1056” від 8 квітня 2015 р. № 231 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/231-2015-п>.
11. Постанова Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг “Про встановлення тарифів на електроенергію, що відпускається населенню” від 26.02.2015 № 220 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/z0231-15>.
12. Розпорядження КМУ “Про Національний план дій з енергоефективності на період до 2020 року” від 25 листопада 2015 р. № 1228-р [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/1228-2015-р>.
13. Тарифы на природный газ [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://index.minfin.com.ua/tarif/gas/gas2014.php>.
14. Тарифы на электроэнергию для населения в Украине [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://index.minfin.com.ua/tarif/electric/electric2013.php>.
15. Утвенко В. В. Правове регулювання діяльності об’єднань співвласників багатоквартирних будинків: зарубіжний досвід / В. В. Утвенко [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://portal.iapm.edu.ua/portal/media/articles/c752630766334c77b53ec0fd3a42f85f.pdf>.
16. Addressing Affordability of Utility Services in Urban Housing: Energy Efficiency Solutions. Municipal Network for Energy Efficiency, USAID – 2007, p. 40.
17. Other country experience with a consumer-based housing subsidy [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://pdf.usaid.gov/pdf\\_docs/pnacb220.PDF](http://pdf.usaid.gov/pdf_docs/pnacb220.PDF).
18. Податковий кодекс від від 02.12.2010 № 2755-VI [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/2755-17>.
19. Офіційний сайт Державної служби статистики України [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.ukrstat.gov.ua>.

### Підрозділ 3.12.

1. Шеметов П. В. Теория организации: учеб. пособие / П. В. Шеметов, С. В. Петухова. – Минск: Омега-Л, 2013. – 456 с.
2. Міністерство енергетики та вугільної промисловості України “НЕК “Укренерго” Науково-технічний центр електроенергетики // Зарубіжний досвід підвищення ефективності передавання та розподілу електроенергії, оптимізації втрат електроенергії в електромережах всіх рівнів напруги. – Київ, 2015. – Електронний ресурс // [https://ua.energy/wp-content/uploads/.../4.-Efektyvn\\_peredav\\_rozpod\\_elektroen.pdf](https://ua.energy/wp-content/uploads/.../4.-Efektyvn_peredav_rozpod_elektroen.pdf).

3. Биконя О. С. Формування інтелектуальної енергосистеми України / О. С. Биконя // Економіка і прогнозування. – № 4. – 2014. – с. 87 – 96.

4. Люльчак З. С. Енергозбереження в Україні: бар'єри та шляхи подолання / Економічна безпека держави: міждисциплінарний підхід [З. С. Люльчак, А. С. Лихоносова, А. І. Сухоруков та ін.]: Колективна монографія / За заг. ред. Є. В. Хлобистова. Черкаси: Чабаненко Ю. А., 2013. – С.253 – 263.

5. Люльчак З. С. Регіональна енергетика – сьогодні та перспективи для Західного регіону України / З. С. Люльчак // Науковий вісник Ужгородського університету. – № 2 (39). – 2013. – С. 205 – 210.

### **Підрозділ 3.13.**

1. Енергетична ефективність України. Кращі проектні ідеї [електронне видання]: Проект “Професіоналізація та стабілізація енергетичного менеджменту в Україні” / Уклад.: С. П. Денисюк, О. В. Коцар, Ю. В. Чернецька. – К. : КПП ім. Ігоря Сікорського, 2016. – 79 с.

2. Показатели энергоэффективности: основы формирования политики // МЭА, 2014 Режим доступа: <https://www.iea.org/media/training/eeukraine2015/RussianEPM.PDF>.

3. “Рейтинг энергоэффективности теплозабеспечения 2016” // Київ, 2016 Режим доступа: <http://www.ua.undp.org/content/dam/ukraine/docs/EE/РЕЙТИНГ%20ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ%20ТЕПЛОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ%202016.pdf>.

4. Власюк О. С. Конкурентоспроможність енергетики: стан, проблеми, перспективи / О. С. Власюк, Д. К. Прейгер // Стратегічна панорама. – 2009. – № 2. – С. 26 – 35.

5. Бараннік В. О. Ефективність енергоспоживання в державі як індикатор конкурентоспроможності. Міждержавні співставлення [Електронний ресурс] / В. О. Бараннік // Економічний вісник НТУУ “КПІ”. – Режим доступу : [http://economy.kpi.ua/files/files/3\\_kpi\\_2010\\_7.pdf](http://economy.kpi.ua/files/files/3_kpi_2010_7.pdf).

6. Енергоефективність як ресурс інноваційного розвитку: Національна доповідь про стан та перспективи реалізації державної політики енергоефективності у 2008 році / С. Ф. Єрмілов, В. М. Геєць, Ю. П. Ященко, В. В. Григоровський, В. Е. Лір та ін. – К. : НАЕР, 2009. – 93 с.

7. Мица Н. В. Сутність та проблеми енергозбереження в Україні [Електронний ресурс] / Н. В. Мица // Сталий розвиток економіки. – Режим доступу : [http://www.nbuv.gov.ua/portal/soc\\_gum/sre/2011\\_4/40.pdf](http://www.nbuv.gov.ua/portal/soc_gum/sre/2011_4/40.pdf).

8. Планирование оптимального использования потенциала энергосбережения промышленных предприятий Украины / В. П. Розен, А. И. Соловей, А. В. Чернявский, М. А. Казмирук // Технічна електродинаміка. – 2006. – № 5. – С. 59 – 68.

9. Енергетична стратегія України на період до 2035 року [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/uk/doccatalog/list?currDir=50358>.

10. Національний план дій з енергоефективності до 2020 року [Електронний ресурс]. – Режим доступу : [http://naer.gov.ua/forum/userfiles/files/draft\\_national\\_renewable\\_energy\\_action\\_plan\\_through\\_2020\\_uk.pdf](http://naer.gov.ua/forum/userfiles/files/draft_national_renewable_energy_action_plan_through_2020_uk.pdf).

11. UNDP Support to the Implementation of the Sustainable Development Goals, Режим доступу : <http://www.ua.undp.org/content/ukraine/uk/home/sustainable-development-goals.html>.

12. Володимир Шимкін Дослідження ринку послуг з енергоефективності в Україні // DeutscheGesellschaftfürInternationaleZusammenarbeit (GIZ) GmbH, 2014.

### **Підрозділ 3.14.**

1. Галузева програма енергоефективності та енергозбереження на період до 2017 року: Наказ Міністерства промислової політики України №152 від 25.02.2009 р. [Електронний ресурс]. – Доступний з: <http://195.78.68.71/industry/control/uk/archive/docview?typeId=73191>.

2. ДСТУ 2155-93. Енергозбереження. Методи визначення економічної ефективності заходів по енергозбереженню. [Електронний ресурс]. Режим доступу:[https://dnaor.com/htmlD0%A2%A3\\_2155-93](https://dnaor.com/htmlD0%A2%A3_2155-93).

3. Картавцев С. В. Интенсивное энергосбережение и технический прогресс черной металлургии : монография. – Магнитогорск: ГОУ ВПО “МГТУ”, 2008. – 311 с.

4. Ключников А. Д. Критерии энергетической эффективности и резерва энергосбережения теплотехнологии, теплотехнологических установок, систем и комплексов : учеб. пособие по курсу “Энергоэкономическая оптимизация высокотемпературных систем”. – М. : Изд-во МЭИ, 1996. – 38 с.

5. Лисиенко В. Г., Лаптева А. В., Чесноков Ю. Н. Сравнительный эколого-парниковый анализ альтернативных бескоксовых процессов производства чугуна и стали // Металлург. – 2011. – № 7, с. 3 – 4.

6. Меркер Э. Э., Карпенко Г. А., Тынников И. М. Энергосбережение в промышленности и энергетический анализ технологических процессов : учеб. пособ. – 2-е изд., перераб. и доп. – Старый Оскол : ООО “ТНТ”, 2007. – 316 с.

### **Підрозділ 3.15.**

1. Реформування ринку електроенергетики в Україні: кому верхки, а кому корінці... [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://news.finance.ua/ua/news/-/281703/reformuvannya-rynku-elektroenergetyky-v-ukrayini-komu-vershky-a-komu-korintsi>.

2. Регіональна економіка : підручник / за ред. Є. П. Качана. – Тернопіль : ТНЕУ, 2008. – 800 с.

3. Модель енергоринка України [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.ukrenergexport.com/uk/content>.
4. 6 міфів підготовки до зими [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://www.ukrrudprom.ua/digest/6\\_mfv\\_pdgotovki\\_do\\_zimi.html?ref=subscribe](http://www.ukrrudprom.ua/digest/6_mfv_pdgotovki_do_zimi.html?ref=subscribe).
5. Про особливості регулювання відносин у сфері електроенергетики на території, де органи державної влади тимчасово не здійснюють або здійснюють не в повному обсязі свої повноваження. Постанова КМ України від 7 травня 2015 р. N 263 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://document.ua/pro-osoblivosti-regulyuvannya-vidnosin-u-sferi-elektroenerge-doc227571.html>.
6. Про затвердження переліку виробників електричної енергії. Наказ МЕНПР від 8 травня 2015 року № 273 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://search.ligazakon.ua/l\\_doc2.nsf/link1/FN010755.html](http://search.ligazakon.ua/l_doc2.nsf/link1/FN010755.html).
7. Уряд вивів окуповані території Донбасу з енергоринку України [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://zhytlo.in.ua/ua/novini/energozberezhennya1/uryad\\_vivv\\_okupovan\\_teritor\\_donbasu\\_z\\_energorinku\\_ukrani.html](http://zhytlo.in.ua/ua/novini/energozberezhennya1/uryad_vivv_okupovan_teritor_donbasu_z_energorinku_ukrani.html).
8. Про затвердження Методики розрахунку інтегральних регіональних індексів економічного розвитку. Наказ державного комітету статистики України від 15.04.2003 № 114 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://www.uazakon.com/documents/date\\_1a/pg\\_ibcnog](http://www.uazakon.com/documents/date_1a/pg_ibcnog).

### Підрозділ 3.16.

1. Коломієць Н. О. Інвестиційні ризики та їх сутність / Н. О. Коломієць, В. М. Павлюченко // “Актуальні проблеми інноваційної економіки”. – 2016. – № 1. – С. 73 – 78.
2. Международный стандарт ISO 50001:2011 “Системы энергоменеджмента – требования с руководством по применению”. Учебные материалы / Пер. А. Осадчиев, С. Хохлаевин. – ISO, 2011. – 27 с.
3. Підготовка проектних пропозицій із чистої енергії: практичний посібник / Під загальною редакцією Тормосова Р. Ю., Романюк О. П., Сафіуліної К. Р. – К.: ТОВ “Поліграф плюс”, 2015. – 176 с.
4. Терещенко О. О. Фінансовий контролінг / Терещенко О. О., Бабяк Н. Д. – К.: КНЕУ, 2013. – 406 с.
5. Industrielle Energiestrategie: Praxishandbuch für Entscheider des produzierenden Gewerbes / Hrsg. Frank J. Matzen; Ralf Tesch. Wiesbaden : Springer Fachmedien Wiesbaden : Imprint: Springer Gabler, 2017. – 823 s. doi:10.1007/978-3-65807606-1.
6. Kovalev A. Formation of system frameworks of energy controlling / Kovalev A., Degtiareva O. // Technology Audit and Production Reserves. – 2018. – No. 1/4 (39). – P. 40 – 44. DOI: 10.15587/2312-8372.2018.124506.
7. Müller E. Energieeffiziente Fabriken planen und betreiben / Egon Müller, Jörg Engelmann, Thomas Löffler, Jörg Strauch. Springer-Verlag Berlin- Heidelberg, 2013. – 340 s.
8. Rackow T. Green Cockpit: Transparency on Energy Consumption in Manufacturing Companies / Rackow T., Javied T., Donhauser T., Martin C., Schuderer P., Franke J. // Procedia CIRP. – 2015. – Vol.26. – P. 498 – 503.
9. Zumpe S. Energiecontrolling als Bestandteil des Energiemanagements / Stefan Zumpe // Energiecontrolling: Energiekosten systematisch steuern und senken / Hrsg. Ronald Gleich – München: Heuffer-Lexware GmbH & Co.KG, 2014. – S. 127 – 138.

### Підрозділ 3.17.

1. Всеукраїнська громадська організація “Вища рада енергоаудиторів та енергоменеджерів України”. Енергетичний аудит // [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://ukrenergaudit.org/diyalnist/energoaudit.html>.
2. Энергозбереження: Енергетичний аудит. Загальні вимоги (ANSI/IEEE 739:1995, NEQ) / В. Мамалига (розроб.). – Чинний від 2002.07.01 – К.: Держстандарт України, 2002. – 38 с. – (Бібліотека офіційних видань).
3. Энергоаудит и нормирование расходов энергоресурсов: [Сб. метод. материалов] / Г. Я. Вагин, Е. А. Зенютович, А. Б. Лоскутков и др. – [Под ред. С.К. Сергеева]. – Н. Новгород: НГТУ, 1998. – 260 с.
4. Завадський Й.С. Менеджмент: Management: підруч. [для студ. вищ. економ. навч. закл.] [у 3-х томах] / Й. С. Завадський. – [Т. 1.] – К.: УФІМіБ, 2002. – 542 с.
5. Національна база постачальників послуг енергоаудиту, енергетичного менеджменту, ЕСКО компаній // [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://prom.kr-admin.gov.ua/i\\_ESCO\\_database\\_24062016.pdf](http://prom.kr-admin.gov.ua/i_ESCO_database_24062016.pdf).
6. Перебийніс В. І. Енергетичний менеджмент: [навч. посіб.] / В. І. Перебийніс – Полтава: ІнтерГрафіка, 2004 – 232 с.
7. Перебийніс В. І. Енергетичний фактор забезпечення конкурентоспроможності продукції: [монографія] / В. І. Перебийніс, О. В. Федірець. – Полтава : ПУЕТ, 2012. – 190 с.
8. Українська енергетика // [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://ua-energy.org/post/6472>.

### Підрозділ 3.18.

1. Статистичний щорічник України за 2016 рік. Державна служба статистики України / за редакцією І. Є. Вернера – Київ. – 2017. – 611 с.
2. Кіндзерський Ю. В. Деструктиви промислової політики в Україні та можливості їх подолання. – Економіка України. – 2012. – № 12. – С. 4 – 16.
3. Сердюк Т. В. Організаційно-управлінське забезпечення процесу підвищення енергетичної ефективності виробництва [Текст] / Т. В. Сердюк, С. Ю. Франишина // Міжвідомчий науково-технічний збірник “Будівельне виробництво”. Науково-дослідний інститут будівельного виробництва. Київ : КНУБА. – 2017. – № 62/1. – 127 с. – С. 82 – 87.

4. Сердюк В. Р. Ефективність використання вторинних енергетичних ресурсів на підприємствах залізобетонного виробництва // В. Р. Сердюк, С. Ю. Франишина // Матеріали науково-технічної конференції ВНТУ. – Електронний ресурс. – Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fbtegp/all-fbtegp-2018/paper/view/4495>.
5. Буляндра О. Ф. Технічна термодинаміка: Підруч. для студентів енерг. спец. вищ. навч. закладів. – К.: Техніка, 2001. – 320 с.
6. Ткаченко С. Й. Технічна термодинаміка в прикладах і задачах / С. Й. Ткаченко, М. М. Чепурний. – Навчальний посібник. Вінниця, ВНТУ, 2005. – 133 с.
7. Ткаченко С. Й. Підбір параметрів енергетичного обладнання для переробного підприємства / С. Й. Ткаченко, Д. І. Денесяк. – Електронний ресурс. – Режим доступу: <http://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fbtegp/all-fbtegp-2016/paper/view/588/820>.
8. Сердюк Т. В. Бізнес-план інвестиційного проекту. Навчальний посібник. – Вінниця: ВДГУ. – 2002. – 135 с.
9. Герасимов Г. Г. Енергоощадність в теплоенергетиці. Навчальний посібник. – Рівне: Червінко А. В., 2015. – 382 с.
10. Варламов Г. Б. Теплоенергетичні установки та екологічні аспекти виробництва енергії / Г. Б. Варламов, Г. М. Любчик, В. А. Маляренко // Підручник. – К.: ІВЦ “Видавництво “Політехніка”. – 2003. – 232 с.

### **Підрозділ 3.19.**

1. Андрейченко А. В. Безвідходні технології в АПК як складова національної безпеки // Сталий розвиток економіки. – № 4, 2017. – С. 20 – 26.
2. Бараннік В. О. Енергетична безпека: регіональний вимір / В. О. Бараннік // Національний інститут стратегічних досліджень [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.db.niss.gov.ua/docs/energy/EnSecBa1.pdf>.
3. Використання енергозберігаючих технологій в країнах ЄС: досвід для України. Аналітична записка [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.niss.gov.ua/articles/262>.
4. Дармограй В. І. Методологія стратегічного планування комплексного соціально-економічного розвитку регіону : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. екон. наук : спец. 08.00.05 “Розвиток продуктивних сил і регіональна економіка” / В. І. Дармограй. – К., 2007. – 20 с.
5. Економічна безпека підприємств, організацій та установ : навчальний посібник [для студ. вищ. навч. закл.] / В. Л. Ортинський, І. С. Керницький, З. Б. Живко та ін. – К. : Правова єдність, 2009. – 544 с.
6. Енергозбереження – єдиний шлях стабільного розвитку аграрного сектору [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.adm-pl.gov.ua/story/energozberezhennya-iediniy-shlyah-stabilnogo-rozvitku-agrarnogo-sektoru>.
7. Качанівська Ю. І. Економічна безпека сільськогосподарських підприємств [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://journal.lvduvs.edu.ua/visnyky/nvse/01\\_2015/15kyuibsp.pdf](http://journal.lvduvs.edu.ua/visnyky/nvse/01_2015/15kyuibsp.pdf).
8. Костіна Л. М. Механізми формування комплексної стратегії інноваційного розвитку промислових регіонів: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. наук з держ. управління : спец. 25.00.02 “Механізми державного управління” / Л. М. Костіна. – Донецьк, 2005. – 20 с.
9. Національна стратегія управління відходами в Україні до 2030 року, схвалена розпорядженням Кабінету Міністрів України від 8 листопада 2017 р. № 820-р. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.kmu.gov.ua/control/ru/cardnpd?docid=250431699>.
10. Павлов О. І. Агропродовольча сфера України як об’єкт національної безпеки / О. І. Павлов // Економіка АПК. – 2014. – № 2. – С. 97 – 103.
11. Підвищення енергоефективності як стратегічний пріоритет державної політики економічної безпеки. Аналітична доповідь [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [www.niss.gov.ua/content/articles/files/1218\\_Dopovid-3b93c.pdf](http://www.niss.gov.ua/content/articles/files/1218_Dopovid-3b93c.pdf).
12. Сучасні енергозберігаючі технології – Режим доступу: <http://www.webfarmerstvo.org.ua/roslynnyctvo/suchasni-energozberigajuchi-tehnologii.php>.
13. Україна збільшила виручку від аграрного експорту майже на чверть [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://economics.unian.ua/agro/2216699-ukrajina-zbilshila-viruchku-vid-agrarnogo-eksportu-mayje-na-chvert.html>.

### **Підрозділ 3.20.**

1. Біоенергетичні проекти: від ідеї до втілення: практ. посіб. / Ін-т місцевого розвитку; [під заг. ред. Р. Ю. Тормосова]. – Київ: Поліграф плюс, 2015. – 208 с.
2. Використання фінансових інструментів при реалізації місцевих проектів розвитку інфраструктури та енергозбереження: метод. посіб. / під. заг. ред. І. Ф. Щербини; Ін-т бюджету та соц.-екон. дослідж. – К.: Нора-друк, 2011. – 57 с.
3. Данилейчук Р. Б. Фінансування заходів з енергозбереження із залученням коштів вітчизняних та іноземних інвесторів / Р. Б. Данилейчук, О. П. Романко // Економічний форум. – 2014. – № 4. – С. 196 – 200.
4. Дослідження альтернативних варіантів фінансування проектів з підвищення енергоефективності [Електронний ресурс] / А. В. Левицька // Економіка: реалії часу. – 2015. – № 4 (20). – С. 256 – 260. – Режим доступу: <http://economics.opu.ua/files/archive/2015/n4.html>.

5. Звіт “Механізм фінансування заходів енергоефективності в Україні” / Сайт Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.minregion.gov.ua/wp-content/uploads/2017/03/Mehanizmi-ffinansuvannya-zahodiv-energoefektivnosti-v-Ukrai--ni.pdf>.
6. Концепція Фонду Енергоефективності // Сайт Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.minregion.gov.ua/press/prezentatsiyi-materiali/kontseptsiya-fondu-energoefektivnosti>.
7. Матвійчук Н. М. Фінансове стимулювання енергозбереження в Україні / Н. М. Матвійчук // Науковий вісник НЛТУ України. – 2015. – Вип. 25.7. – С. 94 – 100.
8. Панов В. В. Енергосервісний контракт як механізм підвищення ефективності систем енергоменеджменту підприємств ВКГ / В. В. Панов, Я. М. Хайло, Ю. В. Ярошенко, С. І. Третьяков, А. В. Тимошенко // Коммунальное хозяйство городов. – 2017. – №136. – С. 13 – 16.
9. Петренко І. П. Фінансова підтримка проектів у сфері енергозбереження / І. П. Петренко, О. Ю. Козловська // Науковий вісник Ужгородського національного університету. – 2017. – № 14. – С. 65 – 67.
10. Про енергозбереження: Закон України № 75/94-ВР від 01.07.1994 р. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/74/94-вр>.
11. Програма кредитування НЕФКО “Энергосбережение” [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://www.nefco.org/sites/defecto.org/files/pdf-files/nefco\\_esc2013\\_rus\\_screen\\_finale.pdf](http://www.nefco.org/sites/defecto.org/files/pdf-files/nefco_esc2013_rus_screen_finale.pdf).
12. Революційний фонд як інструмент успішного фінансування енергоефективних заходів місцевих громад: посібник [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.eunighbours.eu/sites/default/files/publications/2018-01/20180110%20CoM%20DeP%20Guideline%20-%20RF.pdf>.
13. Теплі кредити 2018. – Приватбанк, Укргазбанк та Ощадбанк: порівняння банків, онлайн калькулятор (Тепла оселя, Ощадний дім, Теплий кредит) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://finsee.com/тепла-оселя-ощадний-дім>.
14. Тормосов Р. Ю. Джерела фінансування енергоощадності у ВНЗ / Р. Ю. Тормосов, І. І. Степаненко // Управління розвитком складних систем. – 2012. – Вип. 11. – С. 119 – 121.
15. Чернов С. С. Обзор практики финансирования проектов энергосбережения и повышения энергетической эффективности в России / С. С. Чернов // Бизнес. Образование. Право. Вестник Волгоградского института бизнеса. – 2014. – № 2. – С. 86 – 90.

### Підрозділ 3.21.

1. Гільорме Т. В. Методологічна платформа формування системи управління впровадження енергозберігаючих технологій // Управління енергозберігаючими технологіями в Україні та світі: методологія та практика: колективна монографія / за заг. ред. д-ра фіз.-мат. наук, проф. С. О. Смирнов. – Дніпро: ДНУ імені Олеся Гончара, ТОВ “Акцент ПП”, 2017 – С. 23 – 49.
2. Jobstl H. A., Hogg J. N. State of Forestry Accounting in some European Countries. In: Buttoud G., Jobstl H., Merlo M. (eds.). Accounting and Managerial Economics for Environmentally-friendly Forestry. *Economie et Sociologie Rurales, Actes et Communications*, N 15, P. 17 – 40.
3. Максишко Н. К. Моделі динаміки процесів самоорганізації в територіальній громаді міста / Н. К. Максишко, Я. В. Глазова // Херсонський державний університет: Економічні науки. – 2016. – Випуск 17. Частина 1. – С. 150 – 154.
4. Слісєєва О. К., Гільорме Т. В. Перспективи імплементації моделі поведінки агентів з питань енергозбереження. *Економічний вісник національного технічного університету України “Київський політехнічний інститут”*. Доступно за адресою: <http://ev.fmm.kpi.ua/article/view/108711/103659>.
5. Трофимова І. Н. Моделирование социального поведения / И. Н. Трофимова [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://spkurdyumov.ru/evolutionism/modelirovanie-socialnogopovedeniya>.
6. Романов В. П. Моделирование инновационной экосистемы на основе модели “хищник-жертва” / В. П. Романов, Б. А. Ахмадеева // Бизнес-информатика. – № 1 (31). – 2015. – С. 7 – 17. (9)
7. Дудукало Г. О. Механізм забезпечення ефективності діяльності персоналу підприємств машинобудування: методичні підходи до побудови / В. В. Пастухова, Ю. П. Матусов, Г. О. Дудукало // Менеджмент у ХХІ сторіччі: методологія і практика: збірник наук. статей. – Полтава: Видавець Шевченко Р. В., 2014. – С. 91 – 96.
8. Thagard, P. “The Brain and the Meaning of Life”. Princeton University Press, 2010.

### Підрозділ 3.22.

1. Варналій З. С. Конкуренція і підприємництво : монографія / З. С. Варналій. – Київ : Знання України, 2015. – 463 с.
2. Дементьев В. Сучасна теорія інститутів: ідентифікація предметного поля / В. Дементьев // Економічна теорія. – 2015. – № 1. – С. 26 – 49.
3. Джаман М. О. Теорія економіки регіонів : навч. посіб. / М. О. Джаман. – К. : “Центр учбової літератури”, 2014. – 384 с.
4. Зянько В. В. Інноваційна діяльність підприємств та її фінансове забезпечення в умовах трансформаційних змін економіки України : монографія / В. В. Зянько, І. Ю. Спіфанова, В. В. Зянько. – Вінниця : ВНТУ, 2015. – 172 с.
5. Павлюк А. Розвиток індустріальних парків в Україні : проблеми та перспективи політики стимулювання / А. Павлюк // Економіст. – 2016. – № 1. – С. 25 – 28.

6. The Global Competitiveness Report 2015–2016 [Electronic resource]: World Economic Forum / Editor Professor Xavier Sala-i-Martin ; Columbia University Chief Advisor of The Global Competitiveness. – Geneva : [s. n.], 2015. – 384 p. – Mode of access: [http://www3.weforum.org/docs/gcr/2015-2016/Global\\_Competitiveness\\_Report\\_2015-2016.pdf](http://www3.weforum.org/docs/gcr/2015-2016/Global_Competitiveness_Report_2015-2016.pdf). – Title from display.

7. Human Development Report 2015. Work for Human Development / Published for the United Nations Development Programme (UNDP). – New York : 1 UN Plaza, 2015. – 288 p.

8. Sorrell S., Schleich J., Scott S., O'Malley E., Trace F., Boede U., Ostertag K., Radgen P. Reducing barriers to energy efficiency in public and private organizations. Brighton: Energy research centre – science and technology policy research (SPRU). University of Sussex, 2000.

### **Підрозділ 3.23.**

1. Биба В. В. Енергозбереження в Україні: проблеми та перспективи [Електронний ресурс] / В. В. Биба, О. М. Кулініч // TheAdvancedScienceJournal, Economicshumanities: міжнар. наук. журн. – 2014. – № 9. – С. 117  
Режим доступу: [http://77.121.11.9/xmlui/bitstream/handle/PolNTU/505/Byba\\_Kylinich\\_statty.pdf?sequence](http://77.121.11.9/xmlui/bitstream/handle/PolNTU/505/Byba_Kylinich_statty.pdf?sequence).

2. Булгакова М. Енергозбереження в Україні: правові аспекти і практична реалізація. Посібник для місцевих органів влади / М. Булгакова, М. Приступа. – Рівне: видавець О. Зень, 2011. – 48 с.

3. Віннікова О. Регіональний аспект податкового стимулювання раціонального енергоспоживання / О. Віннікова // Вісник ТНЕУ. – 2011. – № 3. – С. 65 – 71.

4. Домбровський О. Невідповідність між наявністю енергоносіїв та потребою в них як виклик національної безпеки [Електронний ресурс] / О. Домбровський. – Режим доступу: <http://reform.energy/analytics/energoeffektivnost-akhillesova-pyata-ukrainskoj-ekonomiki-1234>.

5. Досвід країн Євросоюзу з підвищення енергоефективності, енергоаудиту та енергоменеджменту з енергоощадності в економіці країн [Електронний ресурс] / Відділ інформаційно-аналітичної роботи департаменту міжнародного співробітництва та євроінтеграції. – К., 2017. – 113 с. – Режим доступу: <https://ua.energy/wp-content/uploads/2018/01/Pidvyshhennya-energoefektyvnosti-v-YES.pdf>.

6. Заблоцький Б. Ф. Розміщення продуктивних сил України: Національна макроекономіка: посібник / Б. Ф. Заблоцький. – К.: Академвидав, 2002. – 368 с.

7. Енергетична галузь України: підсумки 2016 року [Електронний ресурс] / Центр Разумкова. – К.: “Заповіт”, 2017. – 164 с. – Режим доступу: [http://razumkov.org.ua/uploads/article/2017\\_ENERGY-FINAL.pdf](http://razumkov.org.ua/uploads/article/2017_ENERGY-FINAL.pdf).

8. Енергетична ефективність України. Кращі проектні ідеї: Проект “Професіоналізація та стабілізація енергетичного менеджменту в Україні” [Електронний ресурс] / Уклад.: С. П. Денисюк, О. В. Коцар, Ю. В. Чернецька. – К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2016. – 79 с. – Режим доступу: [http://io.iee.kpi.ua/sites/default/files/HANDBOOK\\_of\\_BEST\\_PRACTICES\\_2.pdf](http://io.iee.kpi.ua/sites/default/files/HANDBOOK_of_BEST_PRACTICES_2.pdf).

9. Енергоефективність регіонів України: проблеми оцінки та наявний стан [Електронний ресурс] // Режим доступу: <http://www.niss.gov.ua/content/articles/files/energoefekt-5secc.pdf>.

10. Енергоефективність як ресурс інноваційного розвитку: національна доповідь про стан та перспективи реалізації державної політики енергоефективності у 2008 році / [С. Ф. Єрмілов, В. М. Геєць, Ю. П. Яценко та ін.]. – К.: НАЕР, 2009. – 93 с.

11. Купчак В. Р. Стратегічне управління енергозбереженням в соціально-економічних системах регіону: дис. ... доктора економічних наук: 08.00.05 / Купчак Володимир Романович. – Одеса, 2016. – 414 с.

12. Мащенко С. О. Формування системи заходів та інструментів регулювання енергозбереження в регіонах України [Електронний ресурс] // Економічний простір. – 2015. – № 97. – С. 92 – 100 – Режим доступу: [file:///C:/Users/1/Downloads/ecpros\\_2015\\_97\\_12.pdf](file:///C:/Users/1/Downloads/ecpros_2015_97_12.pdf).

13. Нова енергетична стратегія України: замість цифр – орієнтири [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.dw.com/uk/нова-енергетична-стратегія-україни-замість-цифр-орієнтири/a-37210271>.

14. Петренко І. П. Фінансова підтримка проектів у сфері енергозбереження в Україні / І. П. Петренко, Ю. О. Козловська // Науковий вісник Ужгородського національного університету. – Випуск 14, частина 2. – 2017. – С. 65 – 68.

15. Шатун С. В. Комплексна оцінка стану енергоефективності в Україні / С. В. Шатун // Технологический аудит и резервы производства. – № 6/5(32), 2016. – С. 36 – 41. <file:///C:/Users/1/Downloads/87541-186063-1-PB.pdf>.

16. Шевцов А. І. Енергоефективність у регіональному вимірі. Проблеми та перспективи: аналітична доповідь [Електронний ресурс] / А. І. Шевцов, В. О. Бараннік, М. Г. Земляний, Т. В. Рязова. – Дніпропетровськ: Національний інститут стратегічних досліджень, 2014. – 78 с. – Режим доступу: [www/ URL: http://www.niss.gov.ua/articles/1616](http://www.niss.gov.ua/articles/1616).

### **Підрозділ 3.24.**

1. Державна служба статистики України / Публікації / Основні засоби [електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.ukrstat.gov.ua>.

2. Державна служба статистики України / Публікації / Енергетичний баланс [електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.ukrstat.gov.ua>.

3. “Діяльність суб’єктів господарювання за 2016 рік” Статистичний збірник [електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.ukrstat.gov.ua>.



4. Висновок Головного науково-експертного управління Верховної ради України на проект Закону України “Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо підвищення пенсій” (реєстр. № 6614 від 22.06.2017 р.) [електронний ресурс] – Режим доступу: <http://rada.gov.ua>.
5. Національний банк України / Публікації / Ділові очікування підприємств України [електронний ресурс] – режим доступу: <https://www.bank.gov.ua/control/uk/index>.
6. Державна служба статистики України / Публікації / Наукова та інноваційна діяльність [електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.ukrstat.gov.ua>.
7. Денисов К. В. Промислова політика як чинник структурних перетворень у чорній металургії України: дис. канд. екон. наук: 08.00.03. Кривий Ріг, 2014. 210 с.
8. Угода про субсидії і компенсаційні заходи [електронний ресурс] – режим доступу: [http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/981\\_015/print](http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/981_015/print).
9. Міністерство фінансів України / Бюджет за 2016 рік [електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.minfin.gov.ua>.
10. Денисов К. В. Економічний націоналізм як основа нової промислової політики в Україні / Держава у теорії і практиці українського націоналізму. Матеріали VI Всеукраїнської наукової конференції з міжнародною участю. Івано-Франківськ, 26 – 27 червня 2015 р. / Наук. ред. О. М. Сич. – Івано-Франківськ : Місто НВ, 2015. – 544 с. – С. 123 – 129.
11. Денисов К. В. Модернізація соціальної політики в Україні на засадах економічного націоналізму в контексті сталого розвитку суспільства / Соціальна політика в теорії і практиці українського націоналізму: історія і сьогодення. Матеріали VII всеукраїнської наукової конференції, присвяченої 75-й річниці УПА. Івано-Франківськ, 19 – 20 травня 2017 р. / Наук. ред. О. М. Сич. – Івано-Франківськ: Лілея-НВ, 2017. – 332 с. – С. 100 – 105.
12. Міністерство економічного розвитку і торгівлі України / Діяльність / Стратегічне планування та реформування економіки / Державні цільові програми / Перелік державних цільових програм, яким присвоюються облікові коди [електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.me.gov.ua/Documents/List?lang=ukUA&tag=DerzhavniTsiloviProgrami>.
13. Аналітична доповідь до Щорічного Послання Президента України до Верховної Ради України “Про внутрішнє та зовнішнє становище України в 2017 році”. – К.: НІСД, 2017. – 928 с.
14. Програма діяльності уряду [електронний ресурс] – Режим доступу: [http://www.kmu.gov.ua/control/uk/publish/article?art\\_id=248969842&cat\\_id=247828516](http://www.kmu.gov.ua/control/uk/publish/article?art_id=248969842&cat_id=247828516).
15. Великий тлумачний словник сучасної української мови / [за ред. В. Бусела] – К. : Перун, 2005. – С. 1372 – 1394.
16. Моррас Шарль Повернення до живих речей / Націоналізм: антологія. 3-тє вид. / Упоряд. О. Проценко, В. Лісовий. – К.: ВД “Простір”, “Смолоскип”, 2010. – 684 с. – (“Політичні ідеології”). – С. 57 – 65.

### Підрозділ 3.25.

1. Вершинин В. П. Инновационность составляющих маркетинговой среды в сфере энергосбережения / В. П. Вершинин // Фундаментальные исследования. – 2016. – № 6 – 2. – С. 356 – 361. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.fundamental-research.ru/ru/article/view?id=40423>.
2. Гарасьова Н. Ю., Величко Т. В. Особливості маркетингу електроенергії енергозабезпечуючих компаній в умовах оптового ринку [Електронний ресурс] / Н. Ю. Гарасьова, Т. В. Величко // Наукові записки. – Вип. 10, част. III – Кропивницький: ЦНТУ, 2010. – С. 297 – 299. – Режим доступу: [http://www.kntu.kr.ua/doc/zb\\_10\\_3/stat\\_10\\_3/67.pdf](http://www.kntu.kr.ua/doc/zb_10_3/stat_10_3/67.pdf).
3. Гатиятуллина Д. А. Энергетический маркетинг как эффективный путь к энергосбережению: теоретический аспект [Електронний ресурс] / Д. А. Гатиятуллина // Вестник Казанского технологического университета. – 2012. – №4. – С. 149 – 158. – Режим доступу: <https://cyberleninka.ru/article/n/energeticheskiy-marketing-kak-effektivnyy-put-k-energoberezeniyu-teoreticheskiy-aspekt>.
4. Додонов Б. Моніторинг енергоефективності України 2016 / Б. Додонов [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://newsp.com.ua/media/news/854/files/Мониторинг%20енергоефективності%20України%202016.pdf>.
5. Енергозбереження може принести Україні більше \$10 млрд – дослідження [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ua.korrespondent.net/business/3706726-enerhozberezhennia-mozhe-rynesty-ukraini-bilshe-10-mlrd-doslidzhennia>.
6. Закон України Про енергозбереження: прийнятий 01.07.1994 № 74/94-ВР. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/74/94-%D0%B2%D1%80>.
7. Закон України Про ратифікацію Фінансової угоди (Проект “Основний кредит для аграрної галузі – Україна”) між Україною та Європейським інвестиційним банком: прийнятий 20 вересня 2016 року № 1530-VIII. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/1530-19>.
8. Запровадження механізму мотивації до енергозбереження у бюджетних установах міста [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://www.misto.esco.co.ua/best\\_practice/art105.htm](http://www.misto.esco.co.ua/best_practice/art105.htm) – заголовок з екрану.
9. Киричок А. Энергосбережение по-украински, или много шума из ничего... [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://blog.liga.net/user/akirichko/article/25855.aspx>.
10. Климова Л. А. Теоретические аспекты маркетинга энергосбережения / Л. А. Климова, А. И. Горбатенко // Thesaurus. – 2015. – № 1. – С. 86 – 90. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://www.institutemvd.by/components/com\\_chronoforms5/chronoforms/uploads/20160418162251\\_Klimova\\_Gorbatenko.pdf](http://www.institutemvd.by/components/com_chronoforms5/chronoforms/uploads/20160418162251_Klimova_Gorbatenko.pdf).

11. Комаріст О. І. Малобюджетні інструменти та засоби маркетингу підприємств малого бізнесу / О. І. Комаріст, Н. І. Алдохіна // Наукові праці Полтавської державної аграрної академії – Вип. 2 (7). – Т. 1. Полтава: ПДАА. – 2013. – С. 144 – 150.
12. Кубишина Н. С. Формування маркетингового механізму інноваційних розробок на ринку енергозбереження [Електронний ресурс] / Н. С. Кубишина, О. Ю. Цапук // Економічний вісник НТУУ “КПІ”. – 2013. – Режим доступу: <http://economy.kpi.ua/uk/node/541>.
13. Офіційний сайт Державної служби статистики України [Електронний ресурс] – Режим доступу: [http://ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2016/sg/ekolog/ukr/enem\\_u.htm](http://ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2016/sg/ekolog/ukr/enem_u.htm).
14. Офіційний сайт Державної служби статистики України [Електронний ресурс] – Режим доступу: [http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2016/sg/ekolog/ukr/esp\\_vg\\_u.htm](http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2016/sg/ekolog/ukr/esp_vg_u.htm).
15. Пинда Ю. В. Соціально-відповідальний маркетинг підприємств у контексті реалізації енергозберігаючих заходів на регіональному рівні [Електронний ресурс] / Ю. В. Пинда // Наукові записки Львівського університету бізнесу та права. – 2014. – № 12. – С. 283 – 287. – Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nzlubp\\_2014\\_12\\_66](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nzlubp_2014_12_66).
16. Про схвалення Енергетичної стратегії України на період до 2035 року “Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність”: Розпорядження Кабінету Міністрів України від 18 серпня 2017 р. № 605-р. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/605-2017-%D1%80>.
17. Ромат Е. В. Реклама: учебник для вузов. 7-е изд. / Е. В. Ромат – СПб.: Питер, 2008. – С. 151.
18. Створення мотиваційної моделі впровадження енергозберігаючих технологій в бюджетній сфері [Методичний посібник]. – Славутич 2009. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://esco.co.ua/journal/2010\\_8/art307.pdf](http://esco.co.ua/journal/2010_8/art307.pdf).
19. Титаренко Л. М. Маркетинг в електроенергетиці України: проблеми та перспективи [Електронний ресурс] / Л. М. Титаренко // Економіка і суспільство. – 2017. – Вип. № 11. – С. 317 – 321. – Режим доступу: [http://www.economyandsociety.in.ua/journal/11\\_ukr/52.pdf](http://www.economyandsociety.in.ua/journal/11_ukr/52.pdf).
20. Чикало І. В. Моніторинг ринку енергозбереження в Україні / І. В. Чикало // Інноваційна економіка. – 2013 – №2. – С. 226 – 230. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/inek\\_2013\\_2\\_52](http://nbuv.gov.ua/UJRN/inek_2013_2_52).
21. Юрченко Н. Б. Особливості маркетингової діяльності підприємств в умовах глобалізації та необхідності енергозбереження [Електронний ресурс] / Н. Б. Юрченко. – Ефективна економіка. – 2015. – № 11. – Режим доступу: <http://www.m.nayka.com.ua/?op=1&j=efektyvna-ekonomika&s=ua&z=4574>.
22. Chel, Kaushik. Renewable energy for sustainable agriculture. Agronomy for Sustainable Development, Springer Verlag / EDP Sciences / INRA, 2011, 31 (1), pp. 91 – 118. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00930477/document>.
23. Hummer, J. Using Social Marketing to Promote Energy Efficiency and Conservation. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.environmentalleader.com/2010/03/using-social-marketing-to-promote-energy-efficiency-and-conservation>.
24. Shelton, S. \$7 billion later ... [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://sheltongrp.com/posts/7-billion-later>.
25. Wimberly, J. EcoPinion Survey Report. Green Gap Redux: Green Words Gone Wrong. – Distributed Energy Financial Group LLC / EcoAlign, 2009. – 17 p. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://29jedk1t4b4k3o7vu2867f4z-wpengine.netdna-ssl.com/wp-content/uploads/2009/11/Green-Words-Gone-Wrong-Report.pdf>.

### **Підрозділ 3.26.**

1. Evaluation and Monitoring for the EU Directive on Energy EndUse Efficiency and Energy Services [Electronic resource]. – Access mode: [http://www.evaluateenergysavings.eu/emeees/en/publications/EMEEES\\_Final\\_Report.pdf](http://www.evaluateenergysavings.eu/emeees/en/publications/EMEEES_Final_Report.pdf).
2. Афанасьев М. В. Стратегія підвищення енергоефективності промисловості регіону: теоретико-методичні аспекти формування: [монографія] / М. В. Афанасьєв, Т. І. Салашенко. – Х.: ХНЕУ, 2014. – 284 с.
3. Гаприндашвілі Б. В. Енергозбереження як чинник підвищення конкурентоспроможності промислових підприємств / Б. В. Гаприндашвілі // БізнесІнформ. – 2014. – № 8. – С. 213 – 217.
4. Гнідий М. В. Методологія визначення теоретичного потенціалу енергозбереження на різних рівнях управління економікою / М. В. Гнідий, О. Є. Маляренко // Проблеми загальної енергетики. – 2007. – № 15. – С. 1 – 21.
5. Гордієнко О. С. Енергозбереження транспортних підприємств / О. С. Гордієнко // Технологический аудит и резервы производства. – 2012. – № 1 (7). – Т. 5. – С. 13 – 14.
6. Докієнко Л. М. Сучасний інструментарій діагностики фінансового стану підприємства / Л. М. Докієнко // Глобальні та національні проблеми економіки. – Випуск № 2. Грудень 2014. – С. 1053 – 1057.
7. Докієнко Л. М. Фінансовий інструментарій оцінки інвестиційної привабливості підприємства / Л. М. Докієнко // Економічний вісник НУТУ “КПІ. Збірник наукових праць. – 2014 (11).
8. Захарова О. В. Экономические аспекты энергосбережения на промышленных предприятиях / О. В. Захарова // Интегрированные технологии и энергосбережение. – 2002. – № 2. – С. 40 – 45.
9. Кизим М. О. Формування державної цільової програми підвищення конкурентоспроможності регіонів України: [монографія] / М. О. Кизим, Є. М. Крячко. – Х.: ІНЖЕК, 2010. – 292 с.
10. Микитенко В. В. Енергоефективність промислового виробництва: [монографія] / В. В. Микитенко. – К.: Об’єднаний інститут економіки, 2004. – 281 с.
11. Михайлов С. А. Место стратегии энергосбережения в стратегии социально-экономического развития региона / С. А. Михайлов, В. П. Мешалки, А. А. Балябина // Менеджмент в России и за рубежом. – 2009. – № 2. – С. 22 – 30.

12. Про енергозбереження: Закон України від 01.07.1994 р. № 75/94-ВР (станом на 1 березня 2012 р.) // Відомості Верховної Ради України. – 1994. – № 30. – Ст. 284.
13. Руководство по энергетической статистике / Международное энергетическое агентство [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.iea.org/stats/docs/statistics\\_manual\\_russian.pdf](http://www.iea.org/stats/docs/statistics_manual_russian.pdf).
14. Салашенко Т. І. Стратегічна карта як інструмент операціоналізації стратегії енергоефективності промисловості регіону / Т. І. Салашенко // Економіка розвитку. – 2012. – № 1 (61). – С. 19 – 23.
15. Суходоля О. М. Енергоефективність національної економіки: методологія дослідження та механізми реалізації: [монографія] / О. М. Суходоля. – К.: НАДУ, 2006. – 400 с.

### Підрозділ 3.27.

1. Цілі розвитку тисячоліття Україна: 2000 – 2015. Національна доповідь. – Київ, 2015. – 125 с. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : [http://un.org.ua/images/stories/docs/2015\\_MDGs\\_Ukraine\\_Report\\_ukr.pdf](http://un.org.ua/images/stories/docs/2015_MDGs_Ukraine_Report_ukr.pdf).
2. Потребление топлива и энергоносителей в 2016 году // Central Statistical Office (CSO) [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://stat.gov.pl/obszary-tematyczne/srodowisko-energia/energia/zuzycie-paliw-i-nosnikow-energii-w-2016-roku,6,11.html>.
3. У 2016 році використання природного газу в Україні скоротилось на 0,6 млрд. куб. м // Сайт НАК “Нафтогаз України” [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.naftogaz.com/www/3/nakweb.nsf/0/E8A50F7214508AE8C22580BC00440E84?OpenDocument>.
4. Енергетична стратегія України на період до 2030 р. : Розпорядження Кабінету міністрів України № 1071 від 24.07.2013 р. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/n0002120-13>.
5. Про схвалення концепції Енергетичної стратегія України на період до 2035 р. : Проект Розпорядження Кабінету міністрів України [Електронний ресурс]. – Режим доступу : [mpe.kmu.go.ua/minugol/control/uk/publish/article;jsessionid=AD08EE061406F1E3F3605ABE4B949A3A.app1?art\\_id=245068707](http://mpe.kmu.go.ua/minugol/control/uk/publish/article;jsessionid=AD08EE061406F1E3F3605ABE4B949A3A.app1?art_id=245068707).
6. Програма модернізації систем тепlopостачання на 2014 – 2015 роки : Постанова Кабінету міністрів України № 948 від 17.10.2013 р. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/948-2013-%D0%BF>.
7. Класифікатор видів економічної діяльності [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://kved.ukrstat.gov.ua/KVED2010/kv10\\_i.html](http://kved.ukrstat.gov.ua/KVED2010/kv10_i.html).
8. Характеристика сучасного стану теплових мереж [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org/wiki>.
9. Офіційний веб-сайт Державної служби статистики України [Електронний ресурс]. – Режим доступу [https://ukrstat.org/uk/operativ/operativ2012/pr/etgv/etgv\\_u/ok\\_tm\\_11u.html](https://ukrstat.org/uk/operativ/operativ2012/pr/etgv/etgv_u/ok_tm_11u.html).
10. Промисловість України у 2011 – 2015 роках. Статистичний збірник / Державна служба статистики України [Електронний ресурс]. – Режим доступу : [http://www.ukrstat.gov.ua/druk/publicat/kat\\_u/pub15\\_u.htm](http://www.ukrstat.gov.ua/druk/publicat/kat_u/pub15_u.htm).
11. Дзеркало тижня [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://dt.ua/ECONOMICS/meshkanci-budinkiv-nedootrimuyut-do-45-tepla-cherez-yogo-vtrat-128039.html>.
12. План пріоритетних дій Уряду на 2016 рік : Розпорядження Кабінету Міністрів України від 27.05.2016 р. № 418-р [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/%20418-2016-%D1%80>.
13. Беззуб І. Підвищення енергоефективності – запорука забезпечення енергетичної незалежності України / Беззуб І. // Soceal Commencations Research Center [Електронний ресурс]. – Режим доступу [http://nbuviar.gov.ua/index.php?option=com\\_content&view=article&id=746:pidvishchennya-energoefektivnosti-2&catid=71&Itemid=382](http://nbuviar.gov.ua/index.php?option=com_content&view=article&id=746:pidvishchennya-energoefektivnosti-2&catid=71&Itemid=382).
14. Филлиппс Д. Методы анализа сетей / Д. Филлиппс, А. Гарсиа-Диас; пер. с англ. Е. Г. Коваленко, М. Г. Фуругьяна [под ред. Б. Г. Сушкова]. – М. : Мир, 1984. – 496 с.
15. Економіко-математичне моделювання: зб. мат. Першої нац. наук.-метод. конф., 30 вересня – 1 жовтня 2016 р., м. Київ. – К. : КНЕУ, 2016. – 405 с.
16. Сайт Microsoft [Електронний ресурс]. – Режим доступу : [https://www.microsoftstore.com/store/msmea/uk\\_UA/pdp/Project-Standard-2016/productID.324498600](https://www.microsoftstore.com/store/msmea/uk_UA/pdp/Project-Standard-2016/productID.324498600).
17. Ющенко Н. Л. Інформаційні технології, що реалізують моделі та методи аналізу в процесі прийняття рішень щодо ресурсів і витрат при модернізації теплоенергетики в Україні / Ющенко Н. Л. // Математичне та імітаційне моделювання систем. МОДС ‘2017 : тези доповідей Дванадцяті міжнародної наук.-практ. конф. (Чернівці, 26 – 29 червня 2017 р.) / М-во освіти і науки України, Нац. акад. наук України, Академія технологічних наук України, Інженерна академія України та ін. – Чернівці : ЧНТУ, 2017. – С. 224 – 232.
18. Про запровадження нових інвестиційних можливостей, гарантування прав та законних інтересів суб’єктів підприємницької діяльності для проведення масштабної енергомодернізації : Закон України від 09.04.2015 р. № 327-VIII із змінами [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/327-19>.
19. Про внесення змін до Бюджетного кодексу України щодо запровадження нових інвестиційних можливостей, гарантування прав та законних інтересів суб’єктів підприємницької діяльності для проведення масштабної енергомодернізації : Закон України від 09.04.2015 р. № 328-VIII [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/328-19>.

20. Національний план дій з енергоефективності на період до 2020 року : Розпорядження Кабінету Міністрів України від 25.11.2015 р. № 1228-р [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/n0001824-15/paran2#n2>.

21. Державне агентство з енергоефективності та енергозбереження України [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://saee.gov.ua/consumers/derzh-pidtrymka-energozabespechenya>.

### **Підрозділ 3.28.**

1. Ігнатенко М. М. Формування та розвиток біоенергетичного потенціалу аграрних підприємств на засадах контролінгу / М. М. Ігнатенко, Л. О. Мармуль // Інфраструктура ринку. – Вип. 12. – Одеса. – 2017. – Режим доступу до ресурсу: <http://www.market-infr.od.ua/uk/13-2017>.

2. Федорченко Б. С. Стан та перспективи розвитку біоенергетичного потенціалу сільськогосподарських підприємств України / Б. С. Федорченко // Вісник НТУ “ХПІ”. – 2013. – № 46 (1019). – С. 97 – 05.

3. Самойлік М. С. Оцінка біоенергетичного потенціалу Полтавської області / М. С. Самойлік, К. А. Чудан, А. О. Шуліка // Вісник Полтавської державної аграрної академії. – 2011. – № 1. – С. 36 – 41.

4. Кабак О. О. Забезпечення ефективного використання біоенергетичних ресурсів в АПК / О. О. Кабак // Збірник наукових праць ВНАУ. – 2013. – № 57. – С. 156 – 163.

5. Калетник Г. М. Соціально-економічне значення розвитку ринку біопалива в Україні / Г. М. Калетник // Економіка АПК. – 2008. – № 6. – С. 128 – 132.

6. Романюк І. А. Особливості відтворювального процесу в аграрному сектор / І. А. Романюк // Агросвіт. – 2016. – № 11. – С. 12 – 15.

7. Назаренко А. В. Біопаливний потенціал України на світовому ринку сільськогосподарської продукції / А. В. Назаренко // Економіка АПК. – 2010. – № 1. – С. 72 – 77.

8. Гелетуха Г. Г. Стан та перспективи розвитку біоенергетики в Україні / Г. Г. Гелетуха, Т. А. Железна // Пром. теплотехніка. – 2017. – Т. 39. – № 2. – С. 60 – 63.

9. Ігнатенко М. М. Стратегії та механізми управління розвитком соціальної відповідальності суб'єктів господарювання аграрної сфери економіки: монографія / М. М. Ігнатенко. – Херсон: Айлант, 2015. – 470 с.

### **Список використаних джерел до розділу 4.**

#### **Підрозділ 4.1.**

1. Біоенергетична оцінка сільськогосподарського виробництва. За ред. Ю. О. Тараріко. – К. : Аграрна наука, 2005. – 199 с.

2. Дегодюк Е. Г. Сучасні підходи до оптимізації мінерального живлення рослин в органічному землеробстві. / Е. Г. Дегодюк, О. І. Вітвіцька, Т. С. Дегодюк. // Збірник наукових праць ННЦ “Інститут землеробства НААН”. – 2014. – С. 33 – 39.

3. Дошові черв'яки – архітектори родючих ґрунтів. Дослідний інститут органічного сільського господарства (FIBL). – Київ. – 2016. – 8 с.

4. Довбан К. И. Зеленое удобрение в современном земледелии. / К. И. Довбан. – Минск: Белорусская наука. – 2009. – 404 с.

5. Камінський В. Ф. Землеробство ХХІ століття – проблеми та шляхи вирішення / В. Ф. Камінський, Я. М. Гадзало, В. Ф. Сайко, М. С. Корнійчук / під ред. чл.-кор. НААН проф. В. Ф. Камінського. – К. : ВП “Едельвейс”. – 2015. – 272 с.

6. Патики В. П. Біологічний азот: монографія / В. П. Патики, С. Я. Коць, В. В. Волгогон, О. В. Шерстобоева, Т. М. Мельничук, А. В. Калініченко, І. В. Гриник. під ред. В. П. Патики – К. : “Світ”. – 2003. – 424 с.

7. Шувар І. Технології поліпшення родючості ґрунту / І. Шувар, В. Гнидюк, О. Бунчак, В. Сендецький, О. Тимофійчук. // Зерно. – 2016. – № 2 (119). – С. 158 – 163.

8. Николаус Ремер. Органическое удобрения / АККОРИНФОРМИЗДАТ. – Москва. – 1995. – 88 с.

9. Федоров М. М. Розвиток органічного виробництва. / М. М. Федоров, О. В. Ходаківська, С. Г. Корчинська. під ред. М. М. Федорова, О. В. Ходаківської. – К. : ННЦ ІАЕ. – 2011. – 146 с.

10. Сотникова С. В. Екологія та здоров'я. ІІ Всеукраїнська науково-практична інтернет конференція “Хімія, екологія та освіта” Збірник матеріалів (29 квітня 2016 р.) Полтава. – 2016. – С. 85 – 87.

11. Тимирязев К. А. Солнце, жизнь и хлорофилл: избранные работы. – М. : Сельхозиздат. – 1956. – 227 с.

#### **Підрозділ 4.2.**

1. Мельник С. И. Анализ производственного процесса сахаро-рафинадного производства с использованием эксерготопологических моделей на графах / С. И. Мельник // Наук. праці ОНАХТ. – 2011. – вип. 39. – Том 1. – С. 240 – 243.

2. Мельник С. И. Потенциалы энергосбережения в энерготехнологических системах производства сахара / С. И. Мельник, В. Р. Никульшин, А. Е. Денисова // Праці VII Міжнарод. конф. “Муніципальна енергетика: Проблеми, рішення”. – Миколаїв. – 21 – 22 грудня 2017. – С. 31 – 33.

3. Славянский А. А. Промышленное производство сахара. [Учеб. пособ.]. – М.: МГУТУ им. К. Г. Разумовского. – 2015. – 255 с.

4. Штангеев К. О. Випарні установки та теплові схеми цукрових заводів. – К.: ЮНІДО. – 2015. – 66 с.
5. G. D. Vuckovic, M. M. Stojiljkovic, M. C. Vukic, G. M. Stefanovic, E. M. Dedeic, Advanced exergy analysis and exergoeconomic performance evaluation of thermal processes in an existing industrial plant // *Energy Convers. Manag.* – 2014. – Vol. 85. – pp. 655 – 662.
6. Schulze, T. A look at technological and technical tower extraction trends SUGAR INDUSTRY / T. Schulze [and oth.] // *Zuckerindustrie.* – 140 (2015). – Vol. 12. – pp. 748 – 752.

#### Підрозділ 4.3.

1. Бунько В. Я. Тепломасообмін процесів отримання та використання мінеральних добрив, капсульованих водною суспензією плівкоутворювача: автореф. дис. кан. техн. наук.: спец. 05.17.08 “Процеси та обладнання хімічної технології” / В. Я. Бунько. – Суми, 2013. – 20 с.
2. Пфанцагель И. Теория измерений / И. Пфанцагель. – Пер. с англ. – М.: Мир, 1976. – 248 с.
3. Демчук И. А. Разработка технологии и моделирования процессов капсулирования твердых лекарственных форм в псевдооживленном слое: дис. к.т.н.: 05.17.08 / Демчук Иван Андреевич. – Львов, 1991. – 203 с.
4. Реймерс Ф. Экология (теории, законы, правила, принципы и гипотезы) / Ф. Реймерс. М. – 1994.
5. Устьянич С. П. Теоретичні основи капсулювання дисперсних матеріалів. Навчальний посібник / С. П. Устьянич. – Львів : Академія друкарства, 2008. – 400 с.
6. Нагурський О. А. Закономірності капсулювання речовин у стані псевдозрідження та їх дифузійного вивільнення. Монографія / О. А. Нагурський. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2012. – 188 с.
7. Нагурський О. А. Методика визначення температурних показників процесу капсулювання дисперсних матеріалів в стані псевдозрідження / О. А. Нагурський, А. Я. Сороківський // *Вісник НУ “Львівська політехніка”.* – 2009. – № 644: Хімія, технологія речовин та їх застосування. – С. 180 – 185.
8. Мальований М. С. Тепломасообмін процесу капсулювання мінеральних добрив водним розчином плівкоутворюючої композиції палигорськіт – меляса / Мальований М. С., Нагурський О. А., Бунько В. Я., Друзюк В. М. // *Вісник Кременчуцького НУ ім. Михайла Остроградського.* – 2012. – вип.2/2012 (74). – С. 117 – 120.

#### Підрозділ 4.4.

1. Зюман Б. В. Перспективи утилізації сульфатнокислого елюату – відходу хімводопідготовки ТЕЦ / Б. В. Зюман, А. В. Пасенко, Н. В. Павлюченко // *Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського.* – 2012. – Вип. 3 (74). – С. 138 – 141.
2. Николаева Л. А. Ресурсосберегающая технология утилизации шлама водоподготовки на ТЭС : [Монография] / Л. А. Николаева, Е. Н. Бородай. – Казань : КГЭУ, 2012. – 110 с.
3. Пасенко А. В. Застосування шламових відходів водоочищення теплоелектростанцій у виробництві тротуарної плитки / А. В. Пасенко // *Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського.* – 2011. – Вип. 6 (71). – С. 157 – 160.
4. Пасенко А. В. Перспективи сумісної утилізації відходів виробництва капролактаму та процесу водоочищення ТЕЦ / А. В. Пасенко, О. В. Мазницька, В. Є. Труш, В. І. Орел // *Техногенно-екологічна безпека та цивільний захист.* – 2012. – Вип. 4. – С. 135 – 141.
5. Пасенко А. В. Шлам водоочищення теплоелектростанцій як кальцієвмісний наповнювач у виробництві будматеріалів / А. В. Пасенко // *Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського.* – 2013. – Вип. 3 (80). – С. 191 – 196.
6. Пасенко А. В. Проектування технологічних процесів утилізації шламу водопідготовки ТЕЦ / А. В. Пасенко, Б. В. Зюман // *Науковий вісник НГУ.* – 2008. – № 4. – С. 61 – 63.
7. Пасенко А. В. Экологический аспект схем обращения с отходами водоочистки теплоэлектростанций / А. В. Пасенко // *Екологічна безпека.* – 2012. – Вип. 2 (14). – С. 29 – 32.
8. Пасенко А. В. Технологічне забезпечення процесу переробки відходів водоочищення теплоелектростанцій на етапі зневоднення шламової пульпи / А. В. Пасенко // *Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського.* – 2013. – Вип. 2 (79). – С. 133 – 138.
9. Пасенко А. В. Обезвреживание шламовых отходов систем водоподготовки электростанций / А. В. Пасенко, А. Н. Коробочка // *Збірник наукових праць ДДТУ.* – 2008. – Вип. 1 (9). – С. 240 – 243.
10. Пасенко А. В. Фізичний аспект термічної обробки шламів ТЕС в технології утилізації у будівельній галузі / А. В. Пасенко // *Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського.* – 2013. – Вип. 5 (82). – С. 167 – 172.
11. Пасенко А. В. Расчет времени термического обезвоживания шламовой пульпы / А. В. Пасенко, А. Н. Коробочка, А. И. Базык // *Науковий журнал ДДТУ “Математичне моделювання”.* – 2009. – № 1 (20). – С. 36 – 39.

#### Підрозділ 4.5.

1. Ангилеев О. Г. Повышение эффективности электрифицированного оборудования в фермерских и крестьянских хозяйствах / О. Г. Ангилеев // *Механиз. и электриф. сел. х-ва.* – 2002. – № 10. – С. 30 – 33.
2. Ковальов О. В. Аналітичний метод порівняльної техніко-енергетичної оцінки ефективності і технічного рівня мотоблоків / О. В. Ковальов, А. А. Катюха, Г. Н. Назар’ян // *Праці ТДАТА.* – Випуск 7. – Том 3. Мелітополь: ТДАТА, 2007. – С. 93 – 99.
3. Ковальов О. В. Методика розрахунку та вибору тягового електродвигуна в приводі мотоблока / О. В. Ковальов // *Вісник Дніпропетровського державного аграрного університету* – Вип. 2, Дніпропетровськ: ДДАУ, 2010. – С. 80 – 84.

4. Ковальов О. В. Обґрунтування способу керування ДПС приводу мотоблоку / О. В. Ковальов, С. О. Квітка // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Технічні науки. Випуск 175 "Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України". – Харків: ХНТУСГ, 2016. – С. 146 – 147.

5. Корчемний М. Електропривод мобільного агрегату / М. Корчемний, І. Савченко, Н. Юсупов, С. Гусаков // Електрифікація. – 1997. – № 8. – С. 30 – 31.

#### **Підрозділ 4.6.**

1. Вегера І. І. Новые перспективные технологии индукционной термообработки труб / И. И. Вегера, А. В. Польшаев // Перспективные материалы и технологии: монография. В 2-х т. – 2017. – Т. 2. – С. 342 – 363.

2. Вегера І. І. Моделирование влияния электромагнитного поля высокой частоты на температурные поля в металлах и сплавах при индукционной плавке / И. И. Вегера, В. Ч. Вишневикий, А. В. Зизико, И. А. Скавыш // Современные методы и технологии создания и обработки материалов: сб. научных трудов. В 3 кн. Кн. 2. Технологии и оборудование механической и физико-технической обработки / редкол.: А. В. Белый (гл. ред.) [и др.]. – Минск: ФТИ НАН Беларуси, 2017. – С. 302 – 316.

3. Вегера І. І. Моделирование и разработка технологии индукционного нагрева трубной заготовки под операцию раскатки / И. И. Вегера, А. И. Михлюк, А. И. Маталыго, А. В. Польшаев // Современные методы и технологии создания и обработки материалов: сб. научных трудов. В 3 кн. Кн. 1. Материаловедение / редкол.: А. В. Белый (гл. ред.) [и др.]. – Минск: ФТИ НАН Беларуси, 2017. – С. 160 – 169.

4. Тимошпольский В. И. Сопоставление эффективности нагрева металла в газопламенных печах и индукционных установках ТВЧ / В. И. Тимошпольский, С. М. Кабишов, И. А. Трусова, П. Э. Ратников, Д. В. Менделев, П. Ю. Цыкунов // Металлургия : Республ. межведом. сб. науч. тр. – Минск : БНТУ, 2014. – Вып. 35. – С. 40 – 45.

5. Цыкунов П. Ю. Исследование процессов нагрева стальных изделий в индукционных нагревателях на основе математического моделирования / П. Ю. Цыкунов, И. А. Трусова // Сборник научных работ студентов Республики Беларусь "НИРС 2014" – Минск: Изд. центр БГУ, 2015. – С. 164.

#### **Підрозділ 4.7.**

1. Bontemps A. Means to heat transfer for improving energy efficiency in heat exchangers / A. Bontemps // International Journal of Advances in Science and Technology. – 2012. – p. 34 – 41.

2. Ильин С. В. Влияние ультразвука на тепловые процессы в обмотках масляных трансформаторов / С. В. Ильин // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2012. – С. 7 – 8.

3. Агранат Б. А. Основы физики и техники ультразвука: [учеб. пособ. для вузов] / Б. А. Агранат, М. Н. Дубровин, Н. Н. Хавский и др. – М.: Высшая школа, 1987. – 352 с.

4. Leong T. The fundamentals of power ultrasound – a review / T. Leong, M. Ashokkumar, S. Kentish // Acoustics Australia. – 2011. – Vol. 39 № 2. – p. 54 – 63.

5. Киселев Е. С. Интенсификация процессов механической обработки использованием энергии ультразвукового поля: [учебное пособие] / Е. С. Киселев. – Ульяновск: УлГТУ, 2003. – 186 с.

6. Gondrexon N. Intensification of heat transfer process: improvement of shell-and-tube heat exchanger by means of ultrasound / N. Gondrexon, Y. Rousselet, M. Legay, P. Boldo, S. Le Person, A. Bontemps // Chemical engineering and processing. – 2010. – vol. 49 (9). – p. 936 – 942.

7. Legay M., Improvement of heat transfer by ultrasound: application to a double-tube heat exchanger / M. Legay, B. Simoni, P. Boldo, N. Gondrexon, S. Le Person, A. Bontemps // Ultrasonics sonochemistry. – 2012. – vol. 19. – p. 1194 – 1200.

#### **Підрозділ 4.8.**

1. Engineering of the BRICS engagement [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://www.nkibrics.ru/system/asset\\_publications/data/5902/fe0c/62726903/fe04/0000/original/BRICS\\_low\\_res.pdf?1493368332](http://www.nkibrics.ru/system/asset_publications/data/5902/fe0c/62726903/fe04/0000/original/BRICS_low_res.pdf?1493368332).

2. Natcore Works to Develop Method for Low-Cost, High-Efficiency Solar Cells [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.engineering.com/AdvancedManufacturing/ArticleID/16667/Natcore-Works-to-Develop-Method-for-Low-Cost-High-Efficiency-Solar-Cells.aspx>.

3. San Carlos Solar Energy Inc. Case Study [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://www.thomaslloyd.com/wp-content/uploads/2016-05\\_CaseStudy\\_SolarPortfolioPhilippines\\_SaCaSol\\_EN.pdf](https://www.thomaslloyd.com/wp-content/uploads/2016-05_CaseStudy_SolarPortfolioPhilippines_SaCaSol_EN.pdf).

4. Eolus windpower company signs 15-year PPA with Alcoa in Norway [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.power-technology.com/news/eolus-windpower-company-signs-15-year-ppa-alcoa-norway/4>.

5. Norsk Hydro in "biggest" deal to secure wind farm energy [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.ft.com/content/6483f562-c3bd-11e7-a1d2-6786f39ef675>.

6. Wind Power Plants [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.nalcoindia.com/Wind-Power-Plants.aspx>.

7. Ибрагимов В. Э. Проблема продуцирования экологически небезопасных твёрдых отходов при термическом рециклинге алюминиевых сплавов / В. Э. Ибрагимов, В. Ю. Бажин // Инновационное развитие. – 2017. – № 5 (10). – С. 18 – 20.

8. Панарин В. М. Влияние выбросов заводов по производству алюминия на атмосферу / В. М. Панарин, А. А. Зуйкова, Е. Н. Ивановская [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.eco-oos.ru/biblio/konferencii/sovremennyye-problemy-ekologii/28>.

9. Алюминиевый привкус надежды // Металлургия. Тематическое приложение к газете “Коммерсант”. – 2016. – № 221. – С. 15 – 18.

10. Как заправить машину банкой из-под газировки [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://misis.ru/university/news/science/2018-03/5272>.

11. Немененок Б. М. Оценка экологической безопасности процессов плавки и внепечной обработки алюминиевых сплавов / Б. М. Немененок, С. П. Задруцкий, А. П. Бежок, Н. И. Кудравец // Литье и металлургия. – 2008. – № 3 (47). – С. 171 – 174.

12. Стеценко В. Ю. Модифицирование вторичных сплавов / В. Ю. Стеценко // Литье и металлургия. – 2015. – № 3 (80). – С. 54 – 56.

13. Aluminium composite obtained by using ultrafine carbon raw materials / [S. Lezhnev, D. Kuis, A. Volochko and others] // Material Science – № 4. – 2015. – p. 166.

14. Беліков С. Б. Корозійна стійкість вторинних силумінів після лазерної обробки / С. Б. Беліков, І. П. Волчок, Н. В. Широкобокова, В. М. Повзло // Фізико-хімічна механіка матеріалів. Спецвипуск “Проблеми корозій та протикорозійного захисту матеріалів”, 2014. – № 10. – С. 264 – 267.

#### Підрозділ 4.9.

1. Biomasa i biopaliwa. Zasoby i wykorzystanie w energetyce. – Warszawa: Wydawnictwo GEA, 2004. – S. 28 – 34.

2. Статистичний щорічник України за 2016 рік. – К.: Консультант, 2017. – 631 с.

3. Ragulina I. R. Possibilities of using of short rotation willow plantations for bioenergy development in the Kaliningrad region / E. V. Krasnov, I. R. Ragulina // Proceedings of the 8th Polish-Danish Workshops on Biomass for energy. Poland, 2003. – P. 67 – 71.

4. Rogulska M. Stan obecny i erunki rozwoju energetycznego wykorzystania biomasy w Polsce / M. Rogulska // Zbiurka referatow z konferencji: “Zrownowa zone systemy energetyczne”, Zakopane, 12-14.10.2005. – Zakopane, 2005. – S 4 – 8.

5. Агроекологічний атлас Полтавщини / [В. М. Писаренко, Ю. С. Голік, О. Е. Ілляш та ін.]. – Полтава: Оріяна, 2009. – 70 с.

6. Самойлік М. С. Оцінка біоенергетичного потенціалу полтавської області / М. С. Самойлік, К. А. Чудан, А. О. Шуліка // Вісник Полтавської державної аграрної академії. – 2011. – Вип. № 1. – С. 25 – 32.

7. Рагулина И. Р. Перспективы создания ивовых плантаций для развития биоэнергетики Калининградской области и сопредельных странах / И. Р. Рагулина // Проблемы управления социально-экономическими процессами региона: Материалы II Междунар. науч.-практ. конф., Ч. 1. – Калининград, 2006. – С. 76 – 80.

#### Підрозділ 4.10.

1. Аналітична записка БАУ № 7. Перспективи використання відходів сільського господарства для виробництва енергії в Україні / Г. Г. Гелетуша, Т. А. Железна // Сайт Біоенергетичної асоціації України. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://uabio.org/img/files/docs/position-paper-uabio-7-ua.pdf>.

2. Аналітична записка БАУ № 17. Аналіз критеріїв сталого розвитку біоенергетики / Г. Г. Гелетуша, Т. А. Железна, О. В. Трибой, А. І. Баштовий // Сайт Біоенергетичної асоціації України. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://uabio.org/img/files/docs/position-paper-uabio-17-ua.pdf>.

3. Біоенергетичні проекти: від ідеї до втілення. Практичний посібник / Під загальною редакцією Р. Ю. Тормосова. – К.: ТОВ “Поліграф плюс”, 2015. – 208 с.

4. Гелетуша Г. Г. Практичний посібник з використання біомаси в якості палива у муніципальному секторі України (для представників агропромислового комплексу) / Г. Г. Гелетуша, С. В. Драгнєв, П. П. Кучерук, Ю. Б. Матвєєв // Публікацію підготовлено на замовлення проекту Програми розвитку Організації Об’єднаних Націй та Глобального Екологічного Фонду “Розвиток та комерціалізація біоенергетичних технологій у муніципальному секторі в Україні”. – К., 2017. – 70 с.

5. Енергетична галузь України: підсумки 2015 року / Сайт Центру Разумкова. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://razumkov.org.ua/uploads/article/2016\\_ener\\_gal\\_pidsumky\\_2015.pdf](http://razumkov.org.ua/uploads/article/2016_ener_gal_pidsumky_2015.pdf).

6. Енергетична стратегія України на період до 2035 року / Сайт Міністерства енергетики та вугільної промисловості України. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/doccatalog/document?id=245239554>.

7. Мельничук М. Д. Розвиток біоенергетики як нової сфери агропромислового виробництва в Україні / М. Д. Мельничук, В. О. Дубровін, С. В. Драгнєв, М. С. Даценко, А. Є. Конеченков // Науковий вісник Національного аграрного університету. – Київ, 2007. – Вип. 117. – С. 190 – 212.

8. Коломийченко М. В. Дорожня карта з розвитку ринку твердого біопалива – К., 2016. – 74 с. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://bioenergy.in.ua/media/filer\\_public/b4/bd/b4bda440-5ab8-4c64-943a-a094da7a757f/dorozhnia\\_karta\\_z\\_rozvitku\\_rinku\\_tverdogo\\_biopaliva\\_ukrayini.pdf](http://bioenergy.in.ua/media/filer_public/b4/bd/b4bda440-5ab8-4c64-943a-a094da7a757f/dorozhnia_karta_z_rozvitku_rinku_tverdogo_biopaliva_ukrayini.pdf).

9. Комплексний аналіз українського ринку пелет з біомаси (визначення точок зростання) / Г. Гелетуша, В. Крамар, О. Епик, Т. Антошук, В. Тітков // Публікацію підготовлено на замовлення проекту Програми розвитку Організації Об’єднаних Націй та Глобального Екологічного Фонду “Розвиток та комерціалізація біоенергетичних технологій у муніципальному секторі в Україні”. – К., 2016. – 336 с. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://uabio.org/img/files/docs/kompleksnii\\_analiz\\_ukrayinskogo\\_rinku\\_pelet\\_z\\_biomasi.pdf](http://uabio.org/img/files/docs/kompleksnii_analiz_ukrayinskogo_rinku_pelet_z_biomasi.pdf).

10. Методика узагальненої оцінки технічно-досяжного енергетичного потенціалу біомаси / Дубровін В. О., Голуб Г. А., Драгнев С. В., Гелетуха Г. Г., Железная Т. А., Кучерук П. П., Матвеев Ю. Б., Кудря С. О., Забарний Г. М., Маслюкова З. В. – К.: Тов. “Віол-принт”, 2013. – 25 с.

11. Науково-практичні рекомендації. Збирання врожаю зернових колосових та зернобобових культур в зоні степу за умов гідротермічних стресів 2014 року / Дніпропетровськ: ДУ Інститут сільського господарства степової зони НААН України, 2014. – 40 с.

12. Підготовка та впровадження проектів заміщення природного газу біомасою при виробництві теплової енергії. Практичний посібник / Олійник Є., Антоненко В., Чаплигін С., Зубенко В. За ред. Гелетухи Г. – К.: “Поліграф плюс”, 2016. – 104 с.

13. Посібник. Машини для збирання зернових та технічних культур / За ред. В. І. Кравчука, Ю. Ф. Мельника. – Дослідницьке: УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого – 2009. – 296 с.

14. Про альтернативні види палива: Закон України від 14.01.2000 р. № 1391-XIV (Редакція від 24.11.2016) / Офіційний сайт Верховної Ради України. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/1391-14>.

15. Сучасні тенденції розвитку конструкції сільськогосподарської техніки / За ред. В. І. Кравчука, М. І. Грицишина, С. М. Ковалюк. – К.: Аграрна наука, 2004. – 396 с.

#### **Підрозділ 4.11.**

1. Гелетуха Г. Г. Перспективи вирощування и использования энергетических культур в Украине. Часть 2 / Г. Г. Гелетуха, Т. А. Железная, А. В. Трибой // Журнал “Промышленная теплотехника”. – 2015. – т. 37. – № 5. – С. 58 – 67.

2. Sustainability Indicators for Bioenergy [Electronic resource] / [Ericson S.-O., Clini C., Rebuca M.]. – FAO, 2011. – First edition. – 223 p. – Mode of access: <http://www.fao.org/docrep/016/i2668e/i2668e.pdf>.

3. Alexopoulou E. Role of 4F cropping in determining future biomass potentials, including sustainability and policy related issues [Electronic resource] / Alexopoulou E., Christou M., Eleftheriadis I. // [Biomass Department of CRES, 2010-2012]. – P. 8. Mode of access: [http://www.biomassfutures.eu/public\\_docs/final\\_deliverables/WP3/D3.2%20Role%20of%204F%20crops.pdf](http://www.biomassfutures.eu/public_docs/final_deliverables/WP3/D3.2%20Role%20of%204F%20crops.pdf) (viewed on March 14, 2018).

4. AEBIOM Statistical Report. European Bioenergy Outlook / [Calderon C., Gauthier G., Jossart J.-M. and others]. – Brussels: European Biomass Association (AEBIOM), 2017. – 264 p. – Mode of access: <http://www.aebiom.org/statistical-report-2017/statistical-report-2017-17-10-17>.

5. Заїменко Н. В. Перспективи використання нових та малопоширених енергетичних рослин як сировини для твердого біопалива в Україні / Н. В. Заїменко, Д. Б. Рахметов, С. Д. Рахметов // Журнал “Біоенергетика”. – 2016. – № 1 (7). – С. 4 – 10.

6. Report on Promotion of the Use of Energy from Renewable Sources and Consumption in Ukraine in 2014-2015 [Electronic resource] – P.20. Mode of access: [https://www.energy-community.org/dam/jcr:38625929-3c80-4a80-878e-0b3791e143e2/UA\\_RE\\_progress\\_2016.pdf](https://www.energy-community.org/dam/jcr:38625929-3c80-4a80-878e-0b3791e143e2/UA_RE_progress_2016.pdf) (viewed on March 16, 2018).

7. Реєстр сортів рослин України [Електронний ресурс] / Київ: Міністерство аграрної політики та продовольства України, 2018. Режим доступу: <http://sops.gov.ua/reestratsiya-prav/reistry/reiestr-sortiv-roslyn-ukrainu> (дата звернення 15.03.2018 р.).

8. Реєстр сортів рослин України [Електронний ресурс] / Київ: Міністерство аграрної політики та продовольства України, 2017. Режим доступу: <http://sops.gov.ua/reestratsiya-prav/reistry/reiestr-sortiv-roslyn-ukrainu> (дата звернення 07.08.2017 р.).

9. Фучило Я. Д. Перспектива застосування видів Salix L. для створення енергетичних плантацій в Україні / Я. Д. Фучило, М. В. Сбитна, Д. Ф. Деркач // Український фітоценологічний збірник. – Київ, 2007. – Сер. С, Вип. 25. – С. 97 – 102.

10. Камінський В. Ф. Осушені торфовища – найперспективніші угіддя України для енергетичних культур / В. Ф. Камінський, О. І. Ткачов // Збірник наукових праць ННЦ “Інститут землеробства НААН”. – 2013. – Вип. 3 – 4. – С. 3 – 7.

11. Булат А. Г. Обґрунтування доцільності вирощування енергетичних плантацій верби Матцуда (Salix matsudana Koidz.) на сільськогосподарських землях / А. Г. Булат, Я. В. Таран // Науковий вісник НЛТУ України. – 2015. – Вип. 25.8. – С. 174 – 178.

12. Nussbaumer T. Evaluation of Biomass Combustion based Energy Systems by Cumulative Energy Demand and Energy Yield Coefficient / T. Nussbaumer, M. Oser. – Zurich: Verenum press, 2004. [Electronic resource] – 47 p. – (Report to International Energy Agency IEA Bioenergy Task 32 and Swiss Federal Office of Energy). Mode of access: [http://task32.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2017/03/Nussbaumer\\_IEA\\_CED\\_V11.pdf](http://task32.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2017/03/Nussbaumer_IEA_CED_V11.pdf).

13. Report from the Commission to the Council and the European Parliament on sustainability requirements for the use of solid and gaseous biomass sources in electricity, heating and cooling. [Electronic resource] – Brussels, 25.2.2010. COM (2010) final. Mode of access: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1410874845626&uri=CELEX:52010DC0011>.

14. Commission staff working document “State of play on the sustainability of solid and gaseous biomass used for electricity, heating and cooling in the EU”. [Electronic resource]. – Brussels, 28.7.2014. SWD (2014) 259 final.

15. Directive 2009/28/EC of the European Parliament and of the Council of 23.04.2009 on the promotion of the use of energy from renewable sources and amending and subsequently repealing Directives 2001/77/EC and 2003/30/EC.



16. Proposal for a Directive of the European Parliament and the Council on the promotion of the use of energy from renewable sources (recast). – Brussels, 23.2.2017, COM(2016) 767 final/2. Mode of access: [http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52016PC0767R\(01\)](http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52016PC0767R(01)).

17. D2.6 Feasibility Study Ukraine – Technical and economic feasibility [Mule M., Haidai O.]. – CTXI, 2016. – Horizon 2020 project FORBIO. – [Electronic resource] Mode of access: [http://forbio-project.eu/assets/content/publication/20180206\\_FORBIO\\_D2.6\\_Techno\\_economic\\_feasibility.pdf](http://forbio-project.eu/assets/content/publication/20180206_FORBIO_D2.6_Techno_economic_feasibility.pdf).

#### Підрозділ 4.12.

1. Байцар А. В. Верхня межа лісу в Українських Карпатах: – Автореф. дис. ... канд. географ. наук. – Львів, 1994. – 16 с.

2. Ведрова Э. Ф. Бюджет углерода в лесных и агроэкосистемах южной тайги центральной Сибири / Э. Ф. Ведрова, В. В. Чупрова // Организация почвенных систем. (Тр. II национальной конференции с международным участием “Проблемы теории, методологии и философии почвоведения”. Пушино, 5 – 9 нояб. 2007 г.). – Пушино, 2007. – С. 172 – 175.

3. Дигрессия биогеоценологического покрова на контакте лесного и субальпийского поясов в Черногоре / под ред. К. А. Малиновского. – К.: Наук. думка, 1984. – 208 с.

4. Дюканов В. Г. Механізми Кіотського протоколу: досвід та перспективи для України / В. Г. Дюканов, О. В. Дюканова. – К.: Фенікс, 2006. – 160 с.

5. Климишин О. С. Демутаційні зміни рослинності на межі лісового і субальпійського поясів у Чорногорі (Українські Карпати) / О. С. Климишин, Я. В. Коржинський, Є. Д. Інкін // Наук. зап. Держ. природозн. музею НАН України. – Львів, 2007. – Вип. 23. – С. 17 – 24.

6. Малиновський К. А. Рослинність високогір'я Українських Карпат / К. А. Малиновський. – К.: Наук. думка, 1980. – 278 с.

7. Малиновський К. А. та ін. Вплив заповідності на відновлення корінної рослинності у високогір'ї Карпат / К. А. Малиновський // Укр. ботан. журн., 1987. – № 3. – С. 127 – 139.

8. Марискевич О. Г. Запаси органічного вуглецю в екосистемах Говерляньського лісництва Карпатського природного національного парку / О. Г. Марискевич, І. М. Шпаківська, Є. О. Пука // Лісова типологія в умовах сталого розвитку лісового господарства України: матеріали Восьмих Погребняківських читань. Харків, 3 – 5 жов. 2002 р.). – Харків, 2002. – С. 138 – 142.

9. Миркин Б. М. Антропогенная динамика растительности / Б. М. Миркин // Итоги науки и техники. Ботаника. – 1984. – Т. 5. – С. 139 – 209.

10. Нильссон С. Углеродный бюджет растительных экосистем России / С. Нильссон, Е. А. Ваганов, А. З. Швиденко, В. Столбовой, В. А. Рожков, И. Мак-Каллум, М. Йонас // Докл. акад. наук – 2003. – Т. 2, № 4. – С. 541 – 543.

11. Одум Ю. Экология / Ю. Одум. – Т. 2. – М.: Мир, 1986. – С. 165 – 191.

12. Рупасова Ж. А. Обмен химическими элементами в лесных сообществах / Ж. А. Рупасова // Структура, функционирование и эволюция системы биогеоценозов Барабы. – Новосибирск: Наука, 1976. – Т. 2. – С. 342 – 351.

13. Титлянова А. А. О режимах биологического круговорота в наземных биогеоценозах / А. А. Титлянова // Почвоведение. – 1989. – № 6. – С. 71 – 80.

14. Титлянова А. Режимы биологического круговорота / А. Титлянова, М. Тесаржева. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд., 1991. – 150 с.

15. Царик Й. В. Вікова структура автотрофних компонентів біогеоценозів і їх консортивна організація / Й. В. Царик // Структура високогірних фітоценозів Українських Карпат. – К.: Наук. думка, 1993. – С. 29 – 38.

16. Цурик Е. М. Особенности растительности и почв в полосе контакта полонины и елового леса в Карпатах / Е. М. Цурик // Лесоведение. – 1988. – № 4. – С. 49 – 59.

17. Чернобай Ю. Н. Диагностика антропогенных изменений детрита в бурых горно-лесных почвах Карпат / Ю. Н. Чернобай, О. Г. Марискевич // Деградация и восстановление лесных почв. – М.: Наука, 1991. – С. 163 – 174.

18. Шпакивская И. М. Углерод в почвах Карпатского национального природного парка (Украинские Карпаты) / И. М. Шпакивская, О. Г. Марискевич, Е. А. Пука // Вторая междунар. конф. “Эмиссия и сток парниковых газов на территории Северной Евразии”: тезисы докл. – Пушино, 2003. – С. 134 – 136.

19. Шпаківська І. М. Режими трансформації органічного вуглецю в екосистемах Чорногорі / І. М. Шпаківська // Наук. вісник УкрЛДТУ “Проблеми і перспективи розвитку лісового господарства”. – Львів, 1998. – Вип. 9.1. – С. 81 – 86.

20. Dondini, M., Van Groenigen, K. J., Del Galdo, I., Jones, M. B., 2009. Carbon sequestration under Miscanthus: a study of (13)C distribution in soil aggregates. *Glob. Change Biol. Bioenergy* 1, 321 – 330.

21. Heaton, E. A., Dohleman, F. G., Miguez, A. F., Juvik, J. A., Lozovaya, V., Widholm, J., Zabolina, O. A., McIsaac, G. F., David, M. B., Voigt, T. B., Boersma, N. N., Long, S. P., 2010. Miscanthus: A Promising Biomass Crop. *Adv. Bot. Res.* 56, 75 – 137.

22. Insam H., Domsch K.H. Relationship between soil organic carbon and microbial biomass on chronosequences of reclamation sites // *Microbial Ecology*. – 1988. – № 15. – P. 177 – 188.

23. McLaughlin SB, Adams Kszos L (2005) Development of switchgrass (*Panicum virgatum*) as a bioenergy feedstock in the United States. *Biomass and Bioenergy*, 28, 515 – 535.

24. Shpakivska I. Microbial biomass, C and N mineralization in mineral soil of adjacent montane ecosystems on timberline (East Carpathians Mts.) // Proc. Congress of the Polish GOBiety of Soil. Sci. and Intern. Sci. Conference. – Lublin, 1999. – P. 474 – 475.

25. Singh J. S., Gupta S. R. Plant decomposition and soil respiration in terrestrial ecosystems // Botan. Rev. – 1977. – V. 43, № 4. – P. 449 – 528.

#### **Підрозділ 4.13.**

1. Amon T. Methane production through anaerobic digestion of various energy crops grown in sustainable crop rotations / Amon T., Amon B., Kryvoruchko V., Machmüller A., Hopfner Sixt K., Bodiroza V., Hrbek R., Friedel J., Pötsch E., Wagentristl H., Schreiner M. Zollitsch W./ Bioresource Technology. – 2007, Vol. 98, № 17, pp. 3204 – 3212.

2. Biogas production from maize and dairy cattle manure – Influence of biomass composition on the methane yield / T. Amon et al. Agric. Ecosyst. Environ. 2007. Vol. 118, Iss. 1 – 4. pp. 173 – 182.

3. Buswell A. M., Mueller H. F. Mechanism of methane fermentation. / Industrial and Engineering Chemistry, 1952, № 44 (3), pp. 550 – 552.

4. Comparing energy crops for biogas production – Yields, energy input and costs in cultivation using digestate and mineral fertilization / G. Charlott, T. Kreuger, E. Nges, I. Rosenqvist, H. Svensson, Sven-Erik Lantz, M. Mattsson, J. Börjesson, P. Björnsson / Biomass and Bioenergy. 2014. – V. 64. – P. 199 – 210.

5. Książak J. Evaluation of productivity of maize and sorghum to be used for energy purposes as influenced by nitrogen fertilization / J. Książak, M. Matyka, J. Bojarszczuk, A. Kacprzak / Agriculture, 2012, Vol. 99, № 4, pp. 363 – 369.

6. Визначення економічної ефективності технологій, нової техніки, винаходів та завершених наукових розробок в рослинництві (Методичні рекомендації) / М. В. Роїк, В. Л. Курило, В. М. Сінченко [та ін.]. – Вінниця: Нілан-ЛТД, 2013. – 90 с.

7. Ганженко О. М. Цукрове сорго / О. М. Ганженко // The Ukrainian Farmer. – 2012. – № 10. – С. 42 – 44.

8. Гелетуґа Г. Перспективи виробництва та використання біогазу в Україні / Г. Гелетуґа, П. Кучерук, Ю. Матвеев / Аналітична записка БАУ № 4, Київ, 2013. – 22 с.

9. Гелетуґа Г. Розвиток біогазових технологій в Україні та Німеччині: нормативно-правове поле, стан і перспективи / Г. Гелетуґа, П. Кучерук, Ю. Матвеев / Київ-Гюльцов, 2013. – 72 с.

10. Герасименко Л. А. Оптимізація елементів технології вирощування сорго цукрового для виробництва біопалива в умовах Лісостепу України : Дис. канд. с.-г. наук : 06.01.09 / Л. А. Герасименко ; НАН України, Ін-т біоенерг. культур і цукр. буряків. – К., 2013. – 188 с.

11. Економіка сільського господарства / В. К. Збарський, М. Ф. Бабієнко, М. М. Кулаєць [та ін.] ; за ред. : В. К. Збарського, В. І. Мацибори. – К. : Каравела, 2012. – 312 с.

12. Єщенко В. О. Основи наукових досліджень в агрономії / [В. О. Єщенко, П. Г. Копитко, В. П. Опришко, П. В. Костоґриз]; під ред. В. О. Єщенка. – К.: Дія. – 2005. – 288 с.

13. Концепція виробництва біогазу з біоенергетичних рослин в Україні / М. В. Роїк, О. М. Ганженко, В. Л. Тимошук / Біоенергетика, № 2 (4). – 2014. – С. 2 – 6.

14. Медведовський О. К. Енергетичний аналіз інтенсивних технологій в сільськогосподарському виробництві / О. К. Медведовський, П. І. Іваненко. – К.: Урожай, 1988. – 205 с.

15. Методичні рекомендації з технології вирощування та переробляння цукрового сорго як сировини для виробництва біопалива / О. М. Ганженко, В. Л. Курило, Л. А. Герасименко, П. Ю. Зиков, О. Б. Хіврич, Г. С. Гончарук, В. М. Смірних, Ю. П. Дубовий, О. Г. Іванова. – К.: Компринт, 2017. – 22 с.

16. Носенко Ю. М. Біопаливо – стан та перспективи використання / Ю. М. Носенко, Н. П. Чуйко // Аграрні вісті. – 2008. – № 6. – С. 10 – 13.

17. Організаційно економічні норми витрат та інформаційно-статистичні матеріали з виробництва рослинницької продукції за біоадаптивними технологіями : метод. рекоменд. / М. В. Роїк, В. М. Сінченко, В. І. Пиркін [та ін.]. – К. : Нілан-ЛТД, 2014. – 194 с.

18. Роїк М. В. Біоенергетика в Україні: стан та перспективи розвитку / М. В. Роїк, В. Л. Курило, М. Я. Гументик, О. М. Ганженко // Біоенергетика. – 2013. – №1. – С. 5 – 10.

19. Федуняк І. О. Ефективність виробництва біогазу в Україні / І. О. Федуняк / Наукові записки Національного університету “Острозька академія”, серія “Економіка”, 2014, випуск 26. – С. 45 – 49.

#### **Підрозділ 4.14.**

1. Біоенергетичні системи в аграрному виробництві / [Г. А. Голуб, С. М. Кухарець, О. А. Марус та ін.]; за ред. Г. А. Голуба. – К.: НУБіП України, 2017. – С. 7.

2. Блюм Я. Б. Біологічні ресурси і технології для виробництва різних видів біопалив / [Я. Б. Блюм, О. М. Левчук, Д. Б. Рахметов та ін.] // Вісн. НАН України, 2014. – № 11. – С. 64.

3. Бондар В. С. Економічне обґрунтування технологій вирощування і переробки рослинної біосировини на тверді види палива / В. С. Бондар, А. В. Фурса // Економіка АПК. – 2015. – № 3. – С. 22 – 27.

4. Боровиков В. П. Statistica. Искусство анализа данных на компьютере: для профессионалов / В. П. Боровиков. – [2-е изд.]. – СПб. : Питер, 2003. – 688 с.

5. Гелетуґа Г. Г. Біоенергетика в Україні: стан розвитку, бар'єри та шляхи їх подолання / Г. Г. Гелетуґа, Т. А. Железна // Біоенергетика = Bioenergy : Всеукраїнський науково-виробничий журнал. – 2014. – N 1. – С. 16 – 19.

6. Гелетуха Г. Г. Концепція розвитку біоенергетики в Україні / [Г. Г. Гелетуха, Т. А. Железна, С. В. Тишаєв та ін.], 2001. – К.: Ін-т технічної теплофізики НАН України. – 15 с.
7. Гелетуха Г. Г. Перспективи виробництва теплової енергії з біомаси в Україні / Г. Г. Гелетуха, Т. А. Железна, Е. М. Олійник // Промислова теплотехніка, 2013. – № 4 (т. 35). – С. 5 – 15.
8. Гументик М. Я. Агротехнічні прийоми вирощування проса прутоподібного “*Panicum virgatum L.*” / М. Я. Гументик // Біоенергетика №1, 2014. – С. 29 – 32.
9. Гументик М. Я. Перспективи вирощування багаторічних злакових культур для виробництва біопалива / М. Я. Гументик // Цукрові буряки. – 2010. – №4. – С. 21 – 22.
10. Дмитриев А. Н. Руководство по оценке эффективности инвестиций в энергосберегающие мероприятия / [А. Н. Дмитриев, И. Н. Ковалев, Ю. А. Табунщиков и др.]. – М.: АВОК-ПРЕСС, 2009. – 120 с.
11. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта / Б. А. Доспехов. – М.: Колос, 1985. – 336 с.
12. Дубініна М. В. Інституційні особливості розвитку біоенергетики / М. В. Дубініна // Зб. наук. праць Вінницького НАУ. – Вінниця, 2012. – Т. 1. Вип. 2(64). – С. 31 – 36.
13. Думич В. В. Динаміка росту світчграсу в ґрунтово-кліматичних умовах Полісся України / В. В. Думич, Г. І. Журба, В. Л. Курило // Наукові праці інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків. – Випуск 19, 2013. – С. 43 – 45.
14. Думич В. В. Техніко-технологічні заходи для закладання енергоплантацій світчграсу в умовах Полісся України / В. В. Думич, Г. І. Журба, В. Л. Курило // Зб. наук. пр. Інст-ту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН. – Київ, 2013. – Вип. 19. – С. 37 – 42.
15. Енергетична стратегія України на період до 2030 року // Інформаційно-аналітичний бюлетень “Відомості Міністерства палива та енергетики України”. Спеціальний випуск. – 2006. – 113 с.
16. Макаова Б., Кулик М. Використання біопалива із місцевої сировини як дієвий механізм розвитку територіальних громад. Стратегія збалансованого використання економічного, технологічного та ресурсного потенціалу країни: зб. наук. праць II Міжнародної наук.-практ. конф. 1 червня 2016 р. (ПДАТУ, м. Кам’янець-Подільський). Тернопіль: Крок. С. 27 – 28.
17. Кулик М. І. Енергетичний потенціал та економічна ефективність виробництва фітомаси світчграсу для біопалива. Наукові доповіді Національного університету біоресурсів і природокористування України. 2016. № 4. URL: file:///C:/Users/aec/Downloads/Nd\_2016\_4\_12.pdf.
18. Кулик М. И. Адаптивный потенциал проса прутьевидного в условиях Украины / М. И. Кулик // Вестник Курганской ГСХА, 2015. – №1 (13). – С. 28 – 30.
19. Кулик М. І. Ботанічні особливості та характеристика екотипів проса лозовидного / М. І. Кулик // Матеріали восьмої міжнародної науково-практичної Інтернет-конференції “Простір і час сучасної науки”, 18 – 19 квітня 2012 р. – Київ, 2012. – С. 6 – 7.
20. Кулик М. І. Використання енергетичних культур для фітореMediaції / М. І. Кулик // Розвиток АПК на засадах раціонального природокористування: екологічний, соціальний та економічний аспекти : матеріали II Міжнарод. наук.-практ. конф. (Полтава, 28 травня 2015). – Полтава: ПДАА, 2015. – С. 25 – 28.
21. Кулик М. І. Вирощування енергетичних культур для забезпечення екологічної рівноваги в фітоценозах / М. І. Кулик // Формування стратегії науково-технічного, екологічного і соціально-економічного розвитку суспільства: матеріали II Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції, 5 – 6 грудня 2013 р. – Тернопіль: Крок, 2013. – С. 27 – 29.
22. Кулик М. І. Вплив елементів технології вирощування на урожайність сортів проса прутоподібного / М. І. Кулик // Екологічні, соціальні й економічні аспекти розвитку АПК на засадах раціонального природокористування : колективна монографія ; [За ред. П. В. Писаренка, Т. О. Чайки, О. О. Ласло]. – Полтава: Видавництво “Сімон”, 2015. – С. 194 – 205.
23. Кулик М. И. Энергетические культуры для очищения почв от тяжелых металлов и получения биотоплива / М. И. Кулик // Современные энерго- и ресурсосберегающие экологически устойчивые технологии и системы сельскохозяйственного производства : сборник науч. тр. / под ред. Н. В. Бышова. – Вып. 12. – Рязань : ФГБОУ ВО РГАТУ, 2016. – С. 364 – 367.
24. Кулик М. І. Мінливість кількісних показників проса прутоподібного (*Panicum virgatum L.*) залежно від сорту / М. І. Кулик // Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції, присвяченої пам’яті професора М. М. Чекаліна “Генофонд рослин та його використання в сучасній селекції”, 22 – 23 квітня 2015 р. – Полтава: Видавець Шевченко Р.В., 2015. – С. 89 – 90.
25. Кулик М. И. Многолетние культуры для очищения почв от тяжелых металлов / М. И. Кулик, Б. Э. Макаова // Збірник праць Міжнародної наукової Інтернет-конференції “Освіта, наука та виробництво: розвиток та перспективи співпраці в рамках регіональних технологічних платформ” (Запоріжжя, 1 – 20 грудня 2015 р.). – Запоріжжя.: ЗНУ, 2015. – Том 2. – С. 386 – 391.
26. Кулик М. І. Насіннева продуктивність проса лозовидного (*Panicum virgatum L.*) / М. І. Кулик // Селекція, генетика та насінництво сільськогосподарських культур: тези Міжнародної науково-практичної конференції, присвяченої 50-річчю селекції рослин в ПДАА. – Полтава, ПДАА, 22 – 23 травня 2013 р. – С. 26 – 28.
27. Кулик М. І. Насіннева продуктивність проса лозовидного (*Panicum virgatum L.*) другого року вегетації / М. І. Кулик, О. В. Рій, П. А. Крайсвітній // Вісник Львівського національного аграрного університету: Агрономія. – Львів: Львів. нац. аграр. ун-т, 2013. – Вип. №17 (2). – С. 215 – 220.
28. Кулик М. Однажды посеяв, многократно соберем / Максим Кулик // Зерно: Всеукраинский журнал современного агропромышленника. – 2014. – № 3. – С. 99 – 102.

29. Кулик М. І. Патент на корисну модель. UA99543 Спосіб допосівної підготовки насіння проса лозоподібного (світчграсу) / Кулик М. І.; винахідник і власник, Державна служба інтелектуальної власності України. – № заявки 2014 14002, дата подання 26.12.2014; опублікований 10.06.2015, Бюл. № 11.
30. Кулик М. Посівні якості насіння проса лозоподібного залежно від сорту / М. Кулик, Т. Іщенко, І. Недаєв // Інноваційні технології та інтенсифікація розвитку національного виробництва: матеріали Міжнарод. наук.-практ. Інтернет-конф., 16 – 17 жовтня 2014 р. – Тернопіль : Крок, 2014. – С. 47 – 49.
31. Кулик М. І. Продуктивність і посевні якості насіння проса прутьевидного второго и третьего года вегетации / М. И. Кулик // Материалы IV Всеукраинской научно-практической конференции с международным участием “Роль науки в повышении технологического уровня и эффективности АПК Украины”, 15 – 16 мая 2014 г. – Тернополь. – С. 95 – 97.
32. Maksym Kulyk, Iryna Zhornyk and Maryna Galytska. Plants for phytoremediation and biofuel production. Applied Biotechnology in Mining: Proceedings of the International Conference (Dnipro, April 25 – 27, 2018). Dnipro: National Technical University “Dnipro Polytechnic”, 2018 : 49. URL.: <http://ir.nmu.org.ua/handle/123456789/152916>.
33. Кулик М. І. Сортова специфіка формування насінневої продуктивності проса лозоподібного / М. І. Кулик // Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції “Особистість С. Ф. Третьякова в формуванні засад сучасного екологічного землеробства”, 13 – 14 травня 2014. – Полтава. – С. 61 – 62.
34. Кулик М. І. Формування врожайності фітомаси проса лозоподібного третього року вегетації залежно від елементів структури врожаю / М. І. Кулик // Матеріали науково-практичної конференції професорсько-викладацького складу Полтавської державної аграрної академії, 13 – 14 травня 2014 року. – Ч. 2. – Полтава : РВВ ПДАА, 2014. – С. 31 – 32.
35. Кулик М. І. Формування насінневої продуктивності та посівні якості насіння проса лозовидного (*Panicum virgatum* L.) / М. І. Кулик // Тези Міжнародної науково-практичної конференції “Конкурентоспроможне насіння – стабільний урожай”. – Полтава, 30 – 31 січня 2013 р. – С. 86 – 88.
36. Кулик М. І. Формування продуктивності інтродукованого в центральній частині України *Panicum virgatum* L. (Проса лозоподібного) / М. І. Кулик, С. О. Юрченко // 36. наук. праць “Фактори експериментальної еволюції організмів”. – К.: Укр. т-во генетиків і селекціонерів ім. М. І. Вавилова, 2014. – Т.14. – С. 160 – 164.
37. Кулик М. Формирование фитомассы сортов проса прутьевидного как сырья для производства биотоплива / [М. Кулик, W. Elbersen, R. Poprens и др.] // Альтернативные источники сырья и топлива : сб. науч. тр. Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т химии новых материалов. – Минск : Белорусская наука, 2014. – Вып. 1. – С. 264 – 269.
38. Курило В. Л. Біоенергетика в Україні: стан та перспективи розвитку / В. Л. Курило, М. В. Роїк, О. М. Ганженко // Біоенергетика. – 2013. – № 1. – С. 5 – 10.
39. Курило В. Л. Біологічні особливості та потенціал урожайності енергетичних культур родини тонконогових в умовах України / В. Л. Курило, Д. Б. Рахметов, М. І. Кулик // Вісник Полтавської державної аграрної академії. – Вип. 1 (88), 2018. – С. 11 – 17.
40. Курило В. Л. Удосконалення елементів технології вирощування проса прутіподібного / В. Л. Курило, Г. С. Гончарук, М. Я. Гументик // Біоенергетика, 2014. – Вип.2. – С. 28 – 30.
41. Макаова Б. Екологічність використання рослинної біомаси / Б. Макаова, М. Кулик // Матеріали Міжнародної науково-практичної Інтернет конференції “Інноваційні технології та інтенсифікація розвитку національного виробництва”. – Тернопіль, Тернопільська ДСГДС, 16 – 17 жовтня 2014 р. – С. 58 – 60.
42. Методичні рекомендації з проведення основного та передпосівного обробітку ґрунту і сівби проса лозовидного / [Курило В. Л., Гументик М. Я., Гончарук Г. С. та ін.]. – К. : Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН, 2012. – 26 с.
43. Методичні рекомендації по технології вирощування енергетичних культур (світчграсу) в умовах України / [Писаренко П. В., Кулик М. І., Elbersen W. Н. та ін.]. – Полтава : Полтавська ДАА, 2011. – 40 с.
44. Мойсейченко В. Ф. Основы научных исследований в агрономии / [В. Ф. Мойсейченко, М. Ф. Трифонова, А. Х. Заверюха и др.]. – М.: Колос, 1996. – 336 с.
45. Мороз О. В. Світчграс як нова фітоенергетична культура / [О. В. Мороз, В. М. Смірних, В. Л. Курило та ін.] // Цукрові буряки. – К., 2011. – Вип. 3 (81). – С. 12 – 14.
46. Морозов Р. В. Оцінка біоенергетичного потенціалу рослинних відходів та енергетичних культур у сільському господарстві / Р. В. Морозов, Є. М. Федорчук // Науковий вісник Херсонського державного університету, 2015. – Випуск 10. – Частина 3. – С. 111 – 117.
47. Петриченко С. М. Перспективи вирощування світчграсу як альтернативного джерела енергії в Україні / [С. М. Петриченко, О. В. Герасименко, Г. С. Гончарук та ін.] // Цукрові буряки, 2011. – № 4. – С. 13 – 14.
48. Писаренко П. В. Рослини: джерело енергії / [П. В. Писаренко, П. А. Крайвітній, М. І. Кулик та ін.] // Енергозбереження. – К., 2010. – Вип. 11. – С. 10 – 11.
49. Попов С. В. Особливості формування насінневої продуктивності проса лозоподібного (*Panicum virgatum* L.) / С. В. Попов, М. І. Кулик // Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції молодих вчених, аспірантів та студентів “Інноваційні технології підвищення ефективності виробництва і зберігання сільськогосподарської продукції”. – Харків: ХНАУ, 2013. – С. 128 – 130.
50. Рахметов Д. Б. *Panicum virgatum* L. – перспективний інтродуцент у Національному ботанічному саду ім. М. М. Гришка НААН України / Д. Б. Рахметов, О. М. Вергун, С. О. Рахметова // Інтродукція рослин. – Вип. 3(63), 2014. – С. 4 – 12.

51. Роїк М. В. Ефективність вирощування високопродуктивних енергетичних культур / [М. В. Роїк, В. Л. Курило, М. Я. Гументик та ін.] // Вісник Львівського національного аграрного університету. – 2011. – №15(2). – С. 85 – 90.
52. Роїк М. В. Концепція виробництва і використання твердих видів біопалива в Україні / М. В. Роїк, О. М. Ганженко, В. Л. Тимошук // Біоенергетика, 2015. – Вип.1. – С. 5 – 8.
53. Роїк М. В. Фітоенергетичні культури / [М. В. Роїк, В. Л. Курило, М. Я. Гументик та ін.] // Науково-виробничий журнал “Агроном”, 2013. – Вип. 3. – С. 96 – 99.
54. Руденко М. Энергия прогресса / М. Руденко. – К., 2010. – 544 с.
55. Тараріко Ю. О. Перспективи розвитку біоенергетики в АПК / Ю. О. Тараріко // Вісник аграрної науки. – 2010. – № 4. – С. 9 – 13.
56. Терентьев П. В. Дальнейшее развитие метода корреляционных плеяд / П. В. Терентьев // Применение математических методов в биоло-гии. – Л. : изд-во ЛГУ, 1960. – С. 27 – 36.
57. Тупиця А. М. Використання фітомаси багаторічних злакових культур для виробництва біопалива / А. М. Тупиця // Міжнародна науково-практична конференція молодих вчених, аспірантів і студентів “Інноваційні та екологічно безпечні технології виробництва і зберігання сільськогосподарської продукції”, 29 – 30 жовтня 2015 р. – Харків: ХНАУ, 2015. – С. 190 – 193.
58. Філіпась Л. П. Продуктивність різних сортів світлграсу / Л. П. Філіпась, А. М. Горобець, С. М. Мандровська // Збірник наукових праць Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків. – 2012. – Вип. 14. – С. 359 – 361.
59. Юрченко С. О. Оцінка вихідного матеріалу проса лозоподібного за елементами продуктивності / С. О. Юрченко, М. І. Кулик // Тези доповідей всеукраїнської наукової конференції молодих вчених “Інновації в сучасній селекції та генетиці сільськогосподарських культур”. – м. Одеса, Одеський СГІ – НЦНС, 28 – 30 жовтня 2014 р. – С. 44 – 46.
60. Hohenstein W. G. and Wright L. L. Biomass energy production in the United States: an overview. *Biomass Bioenergy*, 1994. – №6: – P. 161 – 173.
61. Kulyk M. Methods of calculation productivity phytomass of switchgrass in Ukraine / M. Kulyk, W. Elbersen. – Poltava, 2012. – 10 p.
62. Kulyk Maksym and Shokalo Natalia. Impact of plant biometric characteristics on seed productivity of castor-oil plant and switchgrass depending upon weather conditions of the vegetation period in the forest-steppe of Ukraine / Relevant issues of development and modernization of the modern science: the experience of countries of Eastern Europe and prospects of Ukraine: monograph ; edited by authors. – Riga, Latvia : “Baltija Publishing”, 2018. – P. 182 – 204. ISBN: 978-9934-571-26-8.
63. McLaughlin S. B., Samson R., Bransby D. and Wiselugel A. Evaluating physical, chemical, and energetic properties of perennial grasses as biofuels / *Bioenergy '96. Proceedings of the Seventh National Bioenergy Conference*. Sept 15 – 20, Nashville Tennessee, 1996. – V.1. – P. 1 – 8.
64. Moser L. E. and Vogel K. P. Switchgrass, Big Bluestem, and Indiangrass. In: *An introduction to grassland agriculture*. R. F. Barnes, D. A. Miller and C. J. Nelson (eds.). Forages, 5th ed. Vol.1, Ames, IA: Iowa University Press, 1995. – P. 409 – 420.
65. Monti A. Switchgrass: A valuable biomass crops for energy. – Lodon: Springer-Verlag, 2012. – 290 p.
66. Nielsen E. L. Analysis of variation in *Panicum virgatum* / *J. Agric.*, 1944. – Res. 69 – P. 327 – 353.
67. Ocumpaugh W. R., Sanderson M. A., Hussey M. A., Read J. C., Tischler C. R. and Reed R. L.. Evaluation of switchgrass cultivars and cultural methods for biomass production in the southcentral U.S. Final report. Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, TN, 1997. contract #19X-SL128C.
68. Osman A. E. Productivity of irrigated tropical grasses under different clipping frequencies in the semidesert region of the Sudan. *J. Range Manage*, 1979. – Vol. 32 – P. 182 – 185.
69. Parrish D. J., Wolf D. D., Daniels W. L. Switchgrass as a biofuel crop for the upper Southeast: Variety trials and cultural improvements. Five year report. Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, TN, 1997. contract #19X-SK098C.
70. Radiotis T., Li J., Goel K. and Eisner R. Fiber characteristics, pulpability, and bleachability studies of switchgrass. In: *TAPPI Proceedings, Pulping Conference*. 1996. – P. 371 – 376.
71. Samson R. A. and Omielan J. A. Switchgrass: A potential biomass energy crop for ethanol production Thirteenth North American Prairie Conference. Windsor, Ontario. 1992. – P. 253 – 258.
72. Sanderson M. A., Reed R. L., McLaughlin S. B., Wullschlegler S. D. at all. Switchgrass as a sustainable bioenergy crop. *Bioresource Technology*, 1996. – №56 – P. 83 – 93.
73. Stritzler N. P., Pagella J. H., Jouve V. V. and Ferri C. M.. Semi-arid warm-season grass yield and nutritive value in Argentina / *J. Range Manage*, 1996. – № 49 – P. 121 – 125.
74. Turhollow A. F. Screening herbaceous lignocellulosic energy crops in temperate regions of the USA / *Bioresource Technology*, 1991. 36 – P. 247 – 252.
75. Vogel K. P. Switchgrass. In: L. E. Moser et al., eds. *Warm-season (C4) Grasses* / ASA-CSSA-SSSA, Madison, WI, 2004. – P. 561 – 588.
76. Wolter Elbersen and Maksym Kulyk. Switchgrass Ukraine. Overview of switchgrass research and guidelines / Wageningen UR Food & Biobased Research, 2013. – 26 p.
77. Wulschlegler S. D. and Gunter L. E. Genetic diversity and long-term sustainability of yield in the bioenergy crop switchgrass / Environmental Sciences Division, Oak Ridge National Laboratory. Oak Ridge, TN. 1997.

78. Zan C., Fyles J., Girouard P., Samson R. and Doan M. Carbon storage in switchgrass and short-rotation willow plantations. In: R. P. Overend and E. Chornet (eds.) Proceedings of the third biomass conference of the Americas / Making a business from biomass in energy, environment, chemical, fibers and materials, Montreal, Canada, 1997. – P. 355 – 361.

#### **Підрозділ 4.15.**

1. Adie, M. M. & Krisnawati, A. (2014) Soybean Opportunity as Source of New Energy in Indonesia. *Int. Journal of Renewable Energy Development*, 3(1), 37 – 43. [Режим доступу: <https://www.researchgate.net/publication/41120409>].

2. Hiloidhari M., Das D., Baruah D. C. (2014). Bioenergy potential from crop residue biomass in India. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2014; 32: 504 – 512. [Режим доступу: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.01.025>].

3. India: Biomass for Sustainable Development-Lessons for Decentralized Energy Delivery Village Energy Security Programme. Document of the World Bank. 2011. [Режим доступу: <http://www.mnre.gov.in/pdf/VESP-Final-Report-July%202011.pdf>].

4. Kis, D., Sucic, B., Guberac, V., Voca, N., Rozman, V. & Sumanovac, L. (2009). Soybean Biomass as A Renewable Energy Resources. *Agriculture Conspectus Scientificus*, 74 (3), 201 – 203.

5 Sansaniwal S. K., Rosen M. A., Tyagi S. K. (2017). Global challenges in the sustainable development of biomass gasification: An overview. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. – Volume 80, December 2017, Pages 23 – 43].

6. Бабич А. О. Селекція, виробництво, торгівля і використання сої у світі / А. О. Бабич, А. А. Бабич-Побережна. – К.: Аграрна наука, 2011. – 548 с.

7. Білявська Л. Г. Особливості якісного складу насіння сої за різних умов вирощування / Л. Г. Білявська // Зб. наук. пр. наук. – практ. конф. проф. – виклад. складу ПДАА (за підсумками наук. – досл. роботи в 2016 році. – м. Полтава, 17 – 18 травня 2017 року). – Полтава: РВВ ПДАА, 2017. – С. 193 – 194.

8 Голуб Г. А. Теплота згоряння та умови спалювання соломи / Г. А. Голуб, В. О. Лук'янець, С. В. Субота. – Науковий вісник НУБІП України / Редколегія: Д. О. Мельничук (відп. ред.) та ін.. – К., 2009. – Вип. 134, ч. 2. – 284 с. – С. 275 – 278.

9. Голуб Г. А. Техніко-технологічне забезпечення енергетичної автономності агроєкосистем / Г. А. Голуб // Науковий вісник НУБІП України. Серія: Техніка та енергетика АПК / Редколегія: Д. О. Мельничук (відп. ред.) та ін. – К., 2010. – Вип. 144, ч. 4. – 417 с. – С. 303 – 312.

10. Державний реєстр сортів рослин, придатних для поширення в Україні на 2016 р (документ станом на 05.05.2016); режим доступу: [www.minagro.gov.ua](http://www.minagro.gov.ua); або: <http://minagro.gov.ua/uk/ministry?nid=21767>.

11. Ключ С. В. Визначення енергетичного потенціалу соломи і рослинних відходів за період незалежності України / С. В. Калюс // Відновлювана енергетика. – 2012. – №3 – С. 71 – 78.

12 Методика узагальненої оцінки технічно-досяжного енергетичного потенціалу біомаси / [В. О. Дубровін, Г. А. Голуб, С. В. Драгнев, та ін.]. – К.: ТОВ “Віолпринт”, 2013 – 25 с.

13. Морозов Р. В. Оцінка біоенергетичного потенціалу рослинних відходів та енергетичних культур у сільському господарстві / Р. В. Морозов, Є. М. Федорчук // Науковий вісник ХДУ, 2015. – Випуск 10. – Частина 3. – С. 111 – 117.

14. Петриченко В. Ф. Соя – культура унікальних можливостей / В. Ф. Петриченко, В. В. Лихочвар, В. Л. Марков, та ін. – Київ: Юнівест Медіа, 2016. – С. 224.

15. Про альтернативні види палива: Закон України від 14 січня 2000 р. № 1391 – 14 // Відомості Верховної Ради України. – 2000. – № 12.

16. Соя: промышленная переработка, кормовые добавки, продукты питания / Ф. Ф. Адамень, В. И. Сичкарь, В. Н. Письменов, та ін. – К.: Норапринт, 1999. – 333 с.

17. Таргоня В. Визначення реального потенціалу сільськогосподарської біомаси, придатної для використання на енергетичні потреби / В. Таргоня // Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України: збірник наук. пр. / ДНУ (УкрНДДПВТ ім. Л. Погорілого). – Дослідницьке, 2012. – Вип. 16 (30), кн. 2. – С. 360 – 371.

#### **Підрозділ 4.16.**

1. Ignatenko M. M. Production-ecological and socio-economic prospects of reproduction and use of bioenergy potential of agrarian enterprises / M. M. Ignatenko, L. O. Marmul // Science and practice: an innovative approach: Collection of scientific articles. – Les Editions L'Originale, Paris, France. – 2017. – С. 50 – 54.

2. Зіновчук Н. В. Еколого-економічні обмеження біоенергетичного виробництва в Україні / Н. В. Зіновчук, О. В. Скидан // Зб. наук. праць Вінницького нац. аграр. ун-ту. – 2010. – Вип. 42. – Т. 4. – С. 102 – 106.

3. Ігнатенко М. М. Стратегії та механізми управління розвитком соціальної відповідальності суб'єктів господарювання аграрної сфери економіки: монографія / М. М. Ігнатенко. – Херсон: Айлант, 2015. – 470 с.

4. Кабак О. О. Актуальні проблеми використання біоенергетичних ресурсів в АПК України / О. О. Кабак // Вісник Житомирського державного технологічного університету. Економічні науки. – 2013. – № 55. – С. 202 – 209.

5. Романюк І. А. Особливості відтворювального процесу в аграрному секторі / І. А. Романюк // Агросвіт. – 2016. – № 11. – С. 12 – 15.

6. Сидорук Б. Напрями удосконалення економіко-екологічної оцінки енергетичного потенціалу сільськогосподарських культур та ефективності виробництва на їх основі біоенергії / Б. Сидорук, О. Довгань // Економічний дискурс. – 2016. – Вип. 1. – С. 61 – 71.

**Список використаних джерел до розділу 5.****Підрозділи 5.1., 5.2., 5.3., 5.4.**

1. Жарков А. В. Автономна вітротеплонасосна установка для приватного домогосподарства // А. В. Жарков // Вісник Харківського державного технічного університету сільського господарства ім. П. Василенка. Вип. 175 “Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України”. – Харків: Вісник ХНТУСГ, 2016. – С. 25 – 26.
2. Жарков А. В. Аналіз факторів впливу на організацію присадибних теплиць // А. В. Жарков, Є. П. Ключка, Г. В. Степанчук // Вісник Харківського державного технічного університету сільського господарства ім. П. Василенка. Вип. 176 “Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України”: Вісник ХНТУСГ. – Харків, 2016. – С. 95 – 96.
3. Жарков А. В. Когенераційний вітропарк для приватного теплично-парникового комплексу / А. В. Жарков, В. Я. Жарков. // Вісник Харківського державного технічного університету сільського господарства ім. П. Василенка. Вип. 186 “Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України”: Вісник ХНТУСГ. – Харків, 2017. – С. 16 – 17.
4. Жарков А. В. Когенераційні технології використання ВДЕ в АПК / А. В. Жарков, В. Я. Жарков. // Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету. – Мелітополь: ТДАТУ, 2017. – Вип. 7. Т. 1. – С. 109 – 117.
5. Жарков А. В. Можливості виконання енергоекономічних пристроїв на базі аналога лямбда-діода для АПК / А. В. Жарков, І. О. Попова // Вісник Сумського національного аграрного університету: Науковий журнал, Серія “Механізація та автоматизація виробничих процесів”. Вип. 10/1 (29), 2016. – С. 163 – 166.
6. Жарков А. В. Опыт энергосберегающего выращивания рассады в весенней пленочной теплице / А. В. Жарков, О. В. Шалыгина // Университетская наука. “Научные основы современного прогресса” // Журнал по материалам XXV-й Международной научно-практической конференции. – Минеральные Воды: СКФ БГТУ им. В. Г. Шухова. – 2017. – №1(3). – С. 22 – 25.
7. Жарков В. Я. Присадибна сонячна електростанція з фотоелектричними модулями циліндричної форми / В. Я. Жарков, С. В. Галько, А. В. Жарков // Вісник Харківського державного технічного університету сільського господарства ім. П. Василенка. Вип. 165 “Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України”. – Харків: Вісник ХНТУСГ, 2015. – С. 25 – 26.
8. Жарков В. Я. Проблема інтегрування приватних сонячних електростанцій в розподільні електричні мережі / В. Я. Жарков, А. В. Жарков // Вісник Харківського державного технічного університету сільського господарства ім. П. Василенка. Вип. 187 “Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України”: Вісник ХНТУСГ. – Харків, 2017. – С. 44 – 45.
9. Жарков В. Я. Стан розвитку світової геліоенергетики і в Україні / В. Я. Жарков, С. В. Галько, А. В. Жарков, 2015. – 16 с. [Електронний ресурс] / Режим доступу: <http://www.ndipvt.org.ua> (Заголовок з екрану).
10. Жарков А. В. Когенераційний вітропарк для крестьянского хазяйства / А. В. Жарков // Вестник аграрной науки Дона. – 2017. – № 4(40). – С. 52 – 60.
11. Жарков А. В. Приусадебная солнечная электростанция с охлаждаемыми фотоэлектрическими модулями / А. В. Жарков, А. М. Королев // Вестник аграрной науки Дона. – 2017. – № 1 (37). – С. 57 – 62.
12. Зінченко А., Михайленко О. “Зелена” революція в Україні: для усіх чи для обраних // газета “Економічна правда” № 17 (30660) 16 – 19 січня 2018 р. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.epravda.com.ua/publications/2018/02/16/634141>.
13. Математическая обработка экспериментальных данных с использованием полинома Лагранжа / В. С. Еремеев, В. Э. Карпов, А. В. Жарков и др. // Университетская наука. “Современная наука. Теоретический и практический взгляд” // Журнал по материалам XXIII-й Международной научно-практической конференции. – Минеральные Воды: СКФ БГТУ им. В. Г. Шухова. – 2016. – №1. – С. 156 – 159.
14. Неодимовые магниты. Характеристики. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://tdm96.ru/?p=558>.
15. Удосконалення технологій та засобів перетворення відновлюваних і нетрадиційних джерел енергії для сільськогосподарського виробництва: Звіт про НДР (кінцевий) / ТДАТУ; кер. В. Я. Жарков; виконавці: Галько С. В., Жарков А. В., Катюха І. А. [та ін.]. – Мелітополь, 2016. – 160 с. – №ДР 0111U002543.
16. Пат. 103043 UA, МПК (2015.01) H01L31/00, H02J7/35. Присадибна сонячна електростанція з фотоелектричними модулями циліндричної форми / В. Я. Жарков, А. В. Жарков, І. А. Орловський, О. В. Піхтарь, С. В. Галько. – Заявл. 07.07.2015; Опубл. 25.11.2015. – Бюл. № 22.
17. Пат. 104467 UA. МПК F03D7/06 (2006.01), F03D1/06 (2006.01). Безредукторний малопотужний вітроелектрогенератор / В. Я. Жарков, В. А. Чорненький, Б. С. Новах, А. В. Жарков. – а201400015. – Заявл. 08.01.2014; Опубл. 10.02.2016. – Бюл. № 3.
18. Пат. 107333 UA. МПК (2016.01) B60L8/00, H01L31/00, F24J3/06. Автономна сонячна когенераційна енергоустановка для рухомого об’єкта / А. В. Жарков. – u201600203. – Заявл. 11.01.2016; Опубл. 25.05.2016. – Бюл. № 10.
19. Пат. 107616 UA. МПК (2016.01) F25B29/00, F24J3/00, F03D1/00. Присадибна вітротеплонасосна установка / А. В. Жарков. – u201600650. – Заявл. 27.01.2016; Опубл. 10.06.2016. – Бюл. № 11.
20. Пат. 107991 UA. МПК (2016.01) H01L31/00, H01J7/00, F24J2/00. Автономна когенераційна енергоустановка з гібридними фотоелектричними модулями циліндричної форми / В. Я. Жарков, А. В. Жарков, І. А. Орловський. – u201600201. – Заявл. 11.01.2016; Опубл. 24.06.2016. – Бюл. № 12.

21. Пат. 108003 UA. МПК (2016.01) F25B29/00, B67D1/08. Компресійний тепловий насос для охолодження напоїв / А. В. Жарков, О. Г. Гуменний. – u201600328. – Заявл. 15.01.2016; Опубл. 24.06.2016. – Бюл. № 12.
22. Пат. 111999 UA. МПК A01G9/20 (2006.01), F21S10/00, F21Y101/00 (2016.01). Регульована світлодіодна система опромінення розсади / А. В. Жарков, К. М. Карпенко. – u201606674. – Заявл. 17.06.2016; Опубл. 25.11.2016. – Бюл. № 22.
23. Пат. 116122 UA. МПК H02K21/26, F03D7/06, F03D1/06. Малопотужний вітроелектрогенератор зі здвоєним дводисковим ротором спрощеної конструкції / А. В. Жарков, В. Я. Жарков, Б. С. Новах, С. В. Галько, А. В. Чепіжний. – u201611504. – Заявл. 14.11.2016; Опубл. 25.05.2017, Бюл. № 10.
24. Пат. 116482 UA. МПК H02K21/26, F03D7/06, F03D1/06. Малопотужний вітроелектрогенератор з дводисковим ротором на постійних магнітах / А. В. Жарков, В. С. Ломиш, Б. С. Новах [та ін.]. – u201611807. – Заявл. 22.11.2016; Опубл. 25.05.2017, Бюл. № 10.
25. Пат. 116497 UA. МПК H02K21/26, F03D7/06, F03D1/06. Вітроенергоустановка зі зміною частоти обертання перекомутацією статорної обмотки / А. В. Жарков, В. Я. Жарков, Б. С. Новах. – u201612024. – Заявл. 28.11.2016; Опубл. 25.05.2017, Бюл. № 10.
26. Пат. 116510 UA. МПК H02K21/26, H02K16/02, F03D7/06, F03D1/06. Двостаторний вітроелектрогенератор з дисковим зіставним ротором і постійними магнітами збудження / А. В. Жарков, В. Я. Жарков, Б. С. Новах. – u201612174; Заявл. 01.12.2016; Опубл. 25.05.2017, Бюл. № 10.
27. Пат. 116576 UA. МПК H02K16/00, H02K16/04, H02K21/00, H02K21/44. Електричний генератор плоскої конструкції / С. В. Галько, Б. С. Новах, А. В. Жарков. – u201612745. – Заявл. 14.12.2016; Опубл. 25.05.2017, Бюл. № 10.
28. Пат. 116602 UA. МПК F03D3/06 (2006.01), F03D9/00, F03D 7/06 (2006.01), F03D1/06 (2006.01), H02K16/00, H02K21/26 (2006.01). Когенераційний вітропарк з автономним джерелом збудження індукційних перетворювачів / А. В. Жарков, Б. С. Новах, О. В. Шалигіна [та ін.]. – u201612945. – Заявл. 19.12.2016; Опубл. 25.05.2017, Бюл. № 10.
29. Пат. 117783 UA. МПК A01G9/14 (2006.01), A01G9/24 (2006.01), C22C14/00, C22C19/03 (2006.01). Пристрій автоматичного регулювання температури в теплиці / А. В. Жарков, В. Я. Жарков, Б. С. Новах [та ін.]. – u201700232. – Заявл. 27.01.2017; Опубл. 10.07.2017, Бюл. № 13.
30. Пат. 118880 UA. МПК. F03D3/06 (2006.01), F03D7/06 (2006.01), F03D9/00, H05B6/06 (2006.01). Проточний коаксіальний вітроелектромеханічний нагрівач / В. Я. Жарков, А. В. Вужицький, Є. П. Слєпкін, А. В. Жарков, О. М. Москальов, В. І. Ладика. – u201703264. – Заявл. 05.04.2017; Опубл. 28.08.2017, Бюл. № 16.
31. Пат. 123117 UA. МПК F03D3/06 (2006.01), F03D9/00, F03D7/06 (2006.01), F03D1/06 (2006.01), H02K16/00, H02K21/26 (2006.01). Когенераційний вітропарк підвищеної продуктивності з індукційними перетворювачами і спільним вітроелектрогенератором / А. В. Жарков, В. Я. Жарков, С. Ю. Шевченко [та ін.]. – u201708721. – Заявл. 29.08.2017; Опубл. 12.02.2018, Бюл. № 3.
32. Пат. 385613 SE, МПК F03D9/02. Установка для отримання гарячої води. – Опубл. 12.07.1976.
33. Пат. 4421967 USA. Вітротеплова установка. Windmill driven eddy current heater. Birgel Warren J., Hajec Chester – Опубл. 20.12.83.
34. Пат. 201403035Y CN. МПК H02K16/02, H02K15/02, H02K3/28, H02K1/22. Вітроелектрогенератор; Опубл. 10.02.2010.
35. Jon Twidell and Tony Weir. Renewable Energy Resources. – London and New York: Taylor & Francis, 2006. – 601 p.
36. Haslach H. W. A wind turbine driven heat conversion unit for maximal power extraction from the wind. [Оптимизация ветросиловой установки] “3rd ASME Wind Energy Symp.: 7<sup>th</sup> Annu. Energy-Sour. Technol. Conf. And exhib., New Orleans, La, Febr. 12 – 16, 1984” – New York, N.Y., 1984. 111 – 119 (англ.).
37. Seki K., Shimizu Y. A., Narita S. studi of direct heat exchange system for straight blade nonarticulated vertical axis wind turbine. [Испытания ветросиловой установки для теплиц]. “3rd ASME Wind Energy Symp.: 7<sup>th</sup> Annu. Energy-Sour. Technol. Conf. And exhib., New Orleans, La, Febr. 12 – 16, 1984” – New York, N.Y., 1984. 93 – 97 (англ.).
38. Test at very high wind speed of a windmill controlled by a waterbrake. Helgason O., Sigurdsson A. S. “Wind Energy Convers, 1986: Proc. 8th Brit. Wind Energy Assoc. Conf., 19 – 21 March, London, 1986, 101 – 106 (англ.).
39. GWEC Global Wind Report 2016 [Електронний ресурс]. – Режим доступа: <http://www.gwec.net/wp-content/uploads>.
40. World Wind Energy Report 2012\_final [Електронний ресурс]. – Режим доступа: <http://www.wwindea.org/wwea-half-year-report-worldwind>.
41. <http://doe.com.ua/energoeffektivnost>.
42. <http://sae.gov.ua/uk/ae/termo-energy>.
43. <https://ru.wikipedia.org/wiki/Фреоны>.
44. [https://ru.wikipedia.org/wiki/Сосуд\\_Дьюара](https://ru.wikipedia.org/wiki/Сосуд_Дьюара).
45. <http://sae.gov.ua/uk>.

### **Підрозділ 5.5.**

1. Погорель Л. В. Свеклоуборочные машины: история, конструкция, теория, прогноз / Л. В. Погорель, М. В. Татьяна. – К.: Феникс, 2004. – 232 с.
2. Гевко Р. Б. Викоупувально-очисні пристрої бурякозбиральних машин / Р. Б. Гевко. – Тернопіль, 1997. – 118 с.
3. Погорель Л. В. Свеклоуборочные машины (конструирование и расчет) / Л. В. Погорель, Н. В. Татьяна и др. – Киев.: Техника, 1983. – 168 с.



4. Гевко Б. М. Механізми з гвинтовими пристроями / Б. М. Гевко, М. Г. Данильченко, Р. М. Рогатинський та ін. – Львів: Світ, 1992. – 380 с.
5. Булгаков В. М. Результати експериментальних досліджень вдосконаленого очисника коренеплодів цукрового буряку / В. М. Булгаков, О. В. Жуковський // Зб. наук. праць НАУ “Механізація сільськогосподарського виробництва”. Том XII. – Київ: НАУ, 2002. – С. 291 – 296.
6. Данильченко М. Г. Новая конструкция шнекового очистителя уборочных и погрузочных машин. “Технология и организация производства”, Сборник: Киев, 1990, рукопись в УкрНИИТИ, № 4, № 1159, Ук –90.
7. Сільськогосподарські та меліоративні машини. Описовий курс: підручник / Д. Г. Войтюк, В. О. Дубровін, Т. Д. Іщенко та ін. За ред. Д. Г. Войтюка. – К.: Наукова думка, 2004 – 558 с.
8. Погорельый Л. В. Повышение эксплуатационно-технологической эффективности сельскохозяйственной техники / Л. В. Погорельый. – К.: Техніка, 1990. – 176 с.
9. Аванесов Ю. Б. Обоснование параметров шнекового очистителя свеклоуборочных машин / Ю. Б. Аванесов // Тр. Всес. ин-та механ. сельск. хоз-ва. – М., 1975. Т. 72. – С. 23 – 33.
10. Рогатинський Р. М. Силова взаємодія коренеплодів із робочими органами шнекових очисників / Р. М. Рогатинський // Вісник Національного аграрного університету. Т. 1. – Київ: НАУ, 1997. – С. 98 – 103.
11. Гевко Р. Б. Обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів робочих органів бурякозбиральних машин: Дис. д-ра техн. наук: 05.05.11 / Р. Б. Гевко. – К., 2000. – 362 с.
12. Барановський В. М. Дослідження продуктивності транспортерно-гвинтового доочисника / В. М. Барановський, Д. Г. Войтюк, М. Р. Паньків, А. Ю. Виговський // Науковий вісник НАУ. Зб. наук. праць, випуск 92, частина 2. 2005. – С. 407 – 416.
13. Барановський В. М. Енергетична оцінка очисної системи машин вороху коренеплодів / В. М. Барановський, М. І. Пилипець, М. Р. Паньків // Науковий журнал. Вісник ТДТУ, Тернопіль, 2006. Том 11, № 1. – С. 57 – 60.
14. Барановський В. М. Обґрунтування технологічного процесу і параметрів гвинтово-вальцевого очисника вороху кормових буряків: Дис... канд. техн. наук / В. М. Барановський. – Київ, 1996. – 275 с.
15. Гандзюк М. О. Розробка конструкції та обґрунтування параметрів доочисника коренеплодів: Дис... канд. техн. наук / М. О. Гандзюк. – Луцьк, 2002. – 163 с.
16. Виговський А. Ю. Обґрунтування технологічного процесу і параметрів комбінованого очисника вороху кормових буряків. Автореф. дис... на здобуття наук. ступ. канд. тех. наук / А. Ю. Виговський. – Вінниця. – 2006. – 20 с.
17. Влас Н. Є. Обґрунтування параметрів гвинтового циліндричного сепаратора з радіально зміщеними геометричними осями шнеків. Дис... канд. техн. наук / Н. Є. Влас. – Тернопіль, 2004. – 182 с.
18. Паньків М. Р. Обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів гвинтово-еліпсного очисника коренезбиральних машин. Дис... канд. техн. наук / М. Р. Паньків. – Тернопіль, 2003. – 160 с.
19. Булгаков В. М. Теория свеклоуборочных машин: монография. / В. М. Булгаков, М. И. Черновол, Н. А. Свирень. – Кировоград : “КОД”, 2009. – 96 с.
20. Бронштейн И. Н. Справочник по математике для инженеров и учащихся вузов / И. Н. Бронштейн, К. А. Семендяев. – М.: Наука. – 1981. – 718 с.
21. Рогатинський Р. М. Механіко-технологічні основи взаємодії шнекових робочих органів з сировиною сільськогосподарського виробництва: Дис... докт. тех. наук / Р. М. Рогатинський. – Київ, 1997. – 502 с.
22. Гевко І. Б. Обґрунтування конструктивних і силових параметрів секційних елементів гвинтових конвеєрів / І. Б. Гевко, І. В. Новосад // Науковий журнал. Вісник ТДТУ. Том 12, № 1. – Тернопіль: ТДТУ, 2007. – С. 65 – 70.
23. Корнев Г. В. Транспортёры и элеваторы сельскохозяйственного назначения. – М., 1961. – 176 с.
24. Вайсон А. А. Подъёмно-транспортные машины / А. А. Вайсон. – М.: Машиностроение, 1975. – 431 с.
25. Погорельый Л. В. Технологические и технические основы совершенствования механизированных процессов уборки сахарной свеклы. Автореф. дисс. докт. техн. наук / Л. В. Погорельый. – К.: УСХА, 1974, – 41 с.
26. Теория, конструкция и расчет сельхозмашин: учебник для ВУЗов / под. ред. Е. С. Босой, О. В. Верняев, И. И. Смирнов, Е. Г. Султан-Шах. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1978. – 567 с.
27. Сисолін П. В. Сільськогосподарські машини: теоретичні основи, конструкція, проектування / П. В. Сисолін, В. М. Сало, В. М. Кропівний. – К.: “Урожай”. – 2001. – 82 с.
28. Гевко Б. М. Научные основы разработки винтовых транспортирующих механизмов сельскохозяйственных машин. Автореф. дис... д-ра техн. наук / Б. М. Гевко. – Ростов-на-Дону, 1987. – 37 с.
29. Григорьев А. М. Винтовые конвейеры / А. М. Григорьев. – М., 1972. – 235 с.
30. Воднев В. Г. Математический словарь высшей школы / В. Г. Воднев, А. Ф. Наумович, Н. Ф. Наумович. – М.: – Изд-во МПИ, 1988. – 527 с.
31. ДСТУ 2258-93. Машини бурякозбиральні. Загальні технічні умови. Київ.: Держстандарт України, 1993. – 18 с.
32. Погорілий Л. В. Фізико-механічні властивості коренів цукрових буряків у зв'язку з механізацією процесу їх збирання / Л. В. Погорілий, В. В. Брей // Вісник сільськогосподарської науки. – 1971. – № 3. – С. 31 – 37.
33. Погорілий М. Л. Механічні характеристики ґрунтово-коренеплідного середовища цукрових буряків в умовах динамічного навантаження / М. Л. Погорілий // Міжвід. науково-техн. зб. – Кіровоград, 1995. – С. 150 – 158.
34. Булгаков В. М. Розрахунок основних параметрів технологічного процесу збирання буряків / В. М. Булгаков, М. К. Лінник, О. П. Гурченко // Зб. наук. праць НАУ “Механізація сільськогосподарського виробництва”. – Том VI “Теорія і розрахунок сільськогосподарських машин”. – Київ: НАУ, 1999. – С. 220 – 225.

35. Погорельий Л. В. Физико-механические свойства корней сахарной свеклы в связи с механизацией процессов их уборки / Л. В. Погорельий, В. В. Брей // Весник с.-г. науки. – 1971. – № 3. – С. 31 – 37.

36. Янчин С. К. Коэффициент заполнения винтовых транспортеров / С. К. Янчин, А. И. Обертышев // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1970. – № 3. – С. 40 – 41.

### **Підрозділи 5.6., 5.7., 5.8., 5.9., 5.10., 5.11.**

1. Боков В. М. Використання осіннього листа для виготовлення альтернативних видів палива / В. М. Боков, М. І. Попова, Р. С. Лисенко // Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація: Збірник наукових праць КНТУ. – Випуск 26. – Кіровоград: КНТУ, 2013 – С. 231 – 241.

2. Боков В. М. Розмірне формування поверхонь електричною дугою / В. М. Боков – Кіровоград: Поліграфічно-видавничий центр ТОВ “Імекс-ЛТД”, 2002. – 300 с.

3. Вінтонів І. С. Деревинознавство: навч. посіб. / І. С. Вінтонів [та ін.]; Український держ. лісотехнічний ун-т, Українська академія дизайну. – Л.: РВВ УкрДЛТУ, 2005. – 256 с.

4. Гелетука Г. Підготовка та впровадження проектів заміщення природного газу біомасою при виробництві теплової енергії в Україні. Практичний посібник / За ред. Г. Гелетука. – К.: “Поліграф плюс”, 2015. – 72 с.

5. Гомонай М. В. Производство топливных брикетов. Древесное сырье, оборудование, технологии, режимы работы: монография / М. В. Гомонай. – М.: ГОУ ВПО МГУЛ, 2006. – 68 с.

6. Гофман Ю. В. Законы, формулы, задачи физики. Справочник / Ю. В. Гофман. – К.: Наукова думка, 1977. – 576 с.

7. Експериментальна оцінка виготовлення твердого біопалива з композитів на основі рослинних відходів / [Клименко В. В., Кравченко В. І., Кириченко А. М., Личук М. В., Солдатенко В. П.]. – К.: // Енерготехнології та ресурсозбереження, 2016. – № 3. – С. 18 – 24.

8. Клименко В. В., Кравченко В. І., Боков В. М., Гуцул В. І. Технологічні основи виготовлення біопалива з рослинних відходів та їх композитів: монографія / За ред. В. В. Клименка – Кропивницький: ПП “Ексклюзив-Систем”, 2017. – 162 с.

9. Клименко В. В. Газифікація твердих біопалив та обґрунтування конструкції газогенераторів для її провадження / В. В. Клименко, В. І. Кравченко // Конструювання, виробництва та експлуатації сільськогосподарської техніки: Збірник наукових праць КНТУ. – 2013. – Вип.43 (ч. II). – С. 113 – 119.

10. Клименко В. В. Використання біопалива в мобільних автономних енергетичних комплексах / В. В. Клименко, В. І. Кравченко, В. В. Мартиненко // Матеріали ІХ-ї міжнародної науково-практичної конференції “Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації сільськогосподарської техніки” (Кіровоград, 7 – 8 листопада 2013): – Кіровоград: КНТУ, 2013. – С. 208 – 210.

11. Мединський В. С. Матеріалознавство і технологія конструкційних матеріалів / В. С. Мединський // Практикум лабораторних і практичних занять: навч. посіб. – Кіровоград: ПОЛІМЕД-Сервіс, 2006. – 208 с.

12. Новик Ф. С. Оптимизация процессов технологии металлов методами планирования экспериментов / Ф. С. Новик, Я. Б. Арсов. – М.: Машиностроение; София: Техника, 1980. – 304 с.

13. Носуленко В. И. Размерная обработка металлов электрической дугой / В. И. Носуленко, Г. М. Мещеряков // Электронная обработка материалов. – 1981. – № 1. – С. 19 – 23.

14. Основные типы сложных полиэфиров или аналогов ПЭТ материала [Электронный ресурс]. Полимерный онлайн справочник “ПластЭксперт” – Режим доступа: <http://www.eplastic.ru/spravochnik/materiali/pet>.

15. Основные характеристики семейства силовых установок воздушного охлаждения, выпускавшихся Мелитопольским моторным заводом в 1960 – 1996-х гг. [Электронный ресурс]. ЗАЗ-Днепр – Режим доступа: [http://zaz-dnepr.org.ua/harakteristiki\\_memz.htm](http://zaz-dnepr.org.ua/harakteristiki_memz.htm).

16. Пат. UA 86540, МПК В30В 15/02. Прес для виготовлення пелет із плоскою матрицею і котками. / В.М.Боков, Р.С. Лисенко; заявник і власник Боков Віктор Михайлович. – № u201303969; заявл. 01.04.13; опубл. 10.01.14, Бюл. № 1. – 2 с.

17. Пат. UA118033U, МПК F02G 1/043 F02B 65/00. Спосіб виробництва електроенергії автономною енергетичною установкою з використанням місцевого палива / В. В. Клименко, В. І. Кравченко; М. В. Личук; В. І. Гуцул; В. П. Солдатенко; заявник і власник Кіровоградський національний технічний університет. – № u201611550; заявл. 15.11.16; опубл. 25.07.17, Бюл. № 14. – 2 с.

18. Пат. UA116127U, МПК F02G 1/043. Автономна когенераційна установка з двигуном стірлінга і двигуном внутрішнього згоряння / В. В. Клименко, В. І. Кравченко; М. В. Личук; В. І. Гуцул; В. П. Солдатенко; заявник і власник Кіровоградський національний технічний університет. – № u201611550; заявл. 15.11.16; опубл. 10.05.17, Бюл. № 9. – 3 с.

19. Переработка отходов пластмасс [Электронный ресурс]: Переработка мусора инвестиции в будущее. – Режим доступа: <http://ztbo.ru/o-tbo/lit/tehnologii-otxodov/pererabotka-otxodov-plastmass>.

20. Риндюк Д. В. Розробка методу визначення оптимальних конструктивно-технологічних параметрів процесу гранулювання дисперсних матеріалів екструзією: автореф. дис...канд.тех.наук: 05.18.12 / НУХТ. – К., 2012. – 20 с.

21. Сіса О. Ф. Обработка электричною дугою матриць для брикетування / О. Ф. Сіса // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: загальнодерж. міжвід. наук.-техн. зб. – Кіровоград: КНТУ, 2015. – Вип. 45, ч. 1. – С. 302 – 308.

22. Тверде біопаливо: технологічні вимоги, властивості компонентів та технологія виробництва [Електронний ресурс]: Газета “Агробізнес сьогодні”. № 19 (290), 22 жовтня 2014, за ред. О. Гайденко. – К.: вид-во ТОВ “Прес-медіа”, 2014. – Режим доступу: <http://www.agro-business.com.ua/ideii-i-trendy/2424-tverde-biopalyvo-hnologichni-vymogy-vlastyvosti-komponentiv-ta-tekhnologii-vyrobnytstva.html>.

23. Токарев Г. Г. Газогенераторные автомобили / Г. Г. Токарев. – М.: Машгиз, 1955. – 207 с.
24. Штефан С. В. Дослідження структурно-механічних властивостей дисперсних матеріалів рослинного походження / С. В. Штефан, Д. В. Риндюк, О. В. Таран. – Вінниця // Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. Серія: Технічні науки. – №10 – т. 1 (58), 2012 р. – С. 181 – 185.
25. Burning Fallen Leaves May Be Hazardous to Your Health [Електронний ресурс]: Thought Co. – Режим доступу: <https://www.thoughtco.com/health-effects-of-burning-leaves-1204092>.
26. Dian Andriana and Tinton Dwi Atmaja. Alternatif emixing scenario sand pretreatment manner toop timiz e wood fuel pellet. Internationa lConferenceon Sustainable Energy Engineeringand Application (ICSEEA) Inna Garuda Hotel, Yogyakarta, Indonesia, 6 – 7 November 2012, pp. 21 – 26.
27. V. Karkania, E. Fanara, A. Zabaniotou, “Review of sustainable biomass pellets production – A study for agricultural residues pellets’ market in Greece” Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 16, no. 3, pp. 1426 – 1436, April 2012.
28. Samuelsson R. Moisture content and storage time influence the binding mechanism in biofuel wood pellets / [R. Samuelsson, S. H. Larsson, M. Thyrelell.] // Applied Energy. – 2012. – Vol. 99. – pp. 109 – 115.
29. Skrifvars B. J., Huppa M., Moilanen A., Lundqvist R., 1996. Characterization of biomass ashes // Application of Advanced echnology to Ash-Related Problems in Boilers. (Eds L. Baxter and R. DeSollar). New York and London: Plenum Press.
30. P. Židková, O. Obdržálek, L. Kovář. The pelletising proces: the aspects that influence density of wood pellets. Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava. Řada strojní. 2011. Roč. 57, č. 1, pp. 283 – 289.

## Список використаних джерел до розділу 6.

### Підрозділ 6.1.

1. Станиціна В. В. Врахування екологічних витрат при визначенні показників енергетичної ефективності та потенціалів енергозбереження в галузях та регіонах / В. В. Станиціна // Проблеми загальної енергетики. – 2012. – Вип. 1. – С. 62 – 68. – Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/PZE\\_2012\\_1\\_12](http://nbuv.gov.ua/UJRN/PZE_2012_1_12).
2. Сайт Державної Служби Статистики України. Статистичний збірник “Довкілля України” [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://www.ukrstat.gov.ua/druk/publicat/Arhiv\\_u/07/Arch\\_dov\\_zb.htm](http://www.ukrstat.gov.ua/druk/publicat/Arhiv_u/07/Arch_dov_zb.htm).
3. Методологічні положення з організації державного статистичного спостереження щодо витрат на охорону навколишнього природного середовища: Затв. Наказ Державної служби статистики України від 23.12.2011 року № 392. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://www.ukrstat.gov.ua/metod\\_polog/metod\\_doc/2011/392/392.htm](http://www.ukrstat.gov.ua/metod_polog/metod_doc/2011/392/392.htm).
4. Бешуля І. В. Напрямки стандартизації екологічного обліку / І. В. Бешуля // Регіональні перспективи. – 2001. – № 2 – 3. – С. 15 – 16.
5. Бычкова С. М. Роль и значение экологического учета и аудита в рыночной экономике / С. М. Бычкова, М. Ю. Егоров // Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий, 2001. – № 9. – С. 20 – 22.
6. Замула І. В. Бухгалтерський облік екологічної діяльності у забезпеченні стійкого розвитку економіки: монографія / І. В. Замула. – Житомир: ЖДТУ, 2010. – 440 с.
7. Колівешко О. М. Визначення та структура екологічних витрат підприємства. / О. М. Колівешко // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. Серія – Економічні науки: науковий збірник / Черніг. держ. технол. ун-т. – Чернігів: Черніг. держ. технол. ун-т, 2013. – № 3 (68). – С. 128 – 132.
8. Кондратюк О. М. Облік і аналіз екологічних витрат промислових підприємств: автореферат дис. ... канд. екон. наук : 08.00.09 / О. М. Кондратюк ; Держ. вищ. навч. закл. “Київ. нац. екон. ун-т ім. В. Гетьмана”. – К. : [б. в.], 2008. – 20 с.
9. Максимів Л. І. Тенденції розвитку екологічно орієнтованого бухгалтерського обліку / Л. І. Максимів // Бухгалтерський облік і аудит, 2005. – № 5. – С. 18 – 23.
10. Мішенін Є. В. Еколого-економічні проблеми природокористування у лісовому комплексі / За ред. д-ра екон. наук, акад. УЕАН Я. В. Ковалю. – Суми: ВВП “Мрія-1” ЛТД, 1998. – 272 с.
11. Рюмина Е. В. Анализ эколого-экономических взаимодействий / Е. В. Рюмина; РАН, Институт проблем рынка. – М.: Наука, 2000. – 157 с.
12. Саенко К. С. Учет экологических затрат / К. С. Саенко – М.: Финансы и статистика, 2005. – 376 с.
13. Садовська І. Б. Класифікація екологічних витрат для цілей управлінського обліку / І. Б. Садовська // Економічні науки. Серія: Облік і фінанси. – 2014. – Вип. 11(1). – С. 223 – 234. – Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/ecnof\\_2014\\_11\(1\)\\_31](http://nbuv.gov.ua/UJRN/ecnof_2014_11(1)_31).
14. Сухіна О. М. Дослідження екологічної складової у виробничій діяльності підприємств гірничовидобувної промисловості / О. М. Сухіна; відп. ред. Б. М. Данилишин // Економіка природокористування і охорона довкілля: щорічник наук. праць НАН України. Рада по вивченню продуктивних сил України. – К., 2005. – 376 с.
15. Туниця Ю. Ю. Екоеконіміка і ринок: подолання суперечностей / Ю. Ю. Туниця; Національний лісотехнічний ун-т України. – К.: Знання, 2006. – 314 с.
16. Environmental management accounting procedures and principles: Prep. For the Expert Working Group in “Improving the role of government in the promotion of environmental managerial accounting” / UN Div. for sustainable development in coop. With the Austr. Federal Min. of transport, innovation a. technology/ – N. Y.: UN, 2001. – VIII, 144 p.

**Підрозділ 6.2.**

1. Гелетуша Г. Г. Енергетичний та екологічний аналіз технологій виробництва електроенергії з твердої біомаси. Частина 1 / Г. Г. Гелетуша, Т. А. Железна, А. І. Баштовий // ISSN 0204-3602. – Промислова теплотехніка. – 2017. – Т. 39, № 1. – С. 58 – 64.
2. Гелетуша Г. Г. Енергетичний та екологічний аналіз технологій виробництва електроенергії з твердої біомаси. Частина 2 / Г. Г. Гелетуша, Т. А. Железна, А. І. Баштовий // ISSN 0204-3602. – Промислова теплотехніка. – 2017. – Т. 39, № 3. – С. 73 – 77.
3. Гелетуша Г. Г. Перспективи використання відходів сільського господарства для виробництва енергії в Україні / Г. Г. Гелетуша, Т. А. Железна // Аналітична записка БАУ № 7. – 2014. – 33 с.
4. Гелетуша Г. Г. Перспективи виробництва теплової енергії з біомаси в Україні / Г. Г. Гелетуша, Т. А. Железна, Є. М. Олійник // Промислова теплотехніка. – Т. 35, № 5. – 2013. – С. 48 – 57.
5. Гелетуша Г. Г. Перспективи производства электрической энергии из биомассы в Украине / Г. Г. Гелетуша, Т. А. Железная, Е. Н. Олейник, А. И. Гелетуша // Промышленная теплотехника. – Т. 35, № 6. – 2013. – С. 67 – 75.
6. Гелетуша Г. Г. Перспективи розвитку біоенергетики як інструменту заміщення природного газу в Україні / Г. Г. Гелетуша, Т. А. Железна, В. Г. Крамар, П. П. Кучерук // Аналітична записка БАУ № 12. – Біоенергетична асоціація України. – 2015. – 23 с.
7. Гелетуша Г. Г. Практичний посібник з використання біомаси як палива в муніципальному секторі України (для представників державних установ та громадських організацій, що працюють у сфері екології), ГО “Агентство відновлюваної енергетики” / Г. Г. Гелетуша, Ю. Б. Матвеев, Є. М. Олійник, Д. В. Куций. – Київ. – 2017. – 54 с.
8. Дячук О. А. Ефективність і екологічність використання енергетичних ресурсів у світі та Україні / О. А. Дячук, Р. З. Подолець, Б. С. Серебренников, Т. А. Зеленюк // ISSN 1993-0259. ISSN 2219-4649. – Економічний аналіз. – 2014 рік. – Т. 15, № 1. – С. 59 – 75.
9. Дячук О. Перехід України на відновлювану енергетику до 2050 року / О. Дячук, М. Чепелев, Р. Подолець, Г. Трипольська та ін.; за заг. ред. Ю. Огаренко та О. Алієвої // Пред-во Фонду ім. Г. Бьолля в Україні. – Київ : Вид-во ТОВ “АРТ КНИГА”, 2017. – 88 с.
10. Епик О. В. Перехід енергетичного сектору на 100 % ВДЕ у 2050 році / О. В. Епик, О. В. Трибой // 20 вересня 2017 р. – Матеріали міжнародної конференції “ЕНЕРГІЯ З БІОМАСИ 2017”.
11. Розпорядження КМУ від 7 грудня 2016 р. № 932-р про затвердження “Концепція реалізації державної політики у сфері зміни клімату на період до 2030 року”.
12. Розпорядження КМУ від 8 листопада 2017 р. № 796-р про затвердження “Національний план скорочення викидів від великих спалювальних установок”.
13. Berndes G. Bioenergy land use, change and climate change mitigation / G. Berndes, N. Bird, A. Cowie // IEA Bioenergy. – 2010. – 62 с.
14. Communication from the commission 885. Energy Roadmap 2050. // ISBN 978-92-79-21798-2. – Luxembourg: Publications Office of the European Union. – 2012. – 20 с.
15. Energy technology perspectives 2012 / ISBN: 978-92-64-17488-7. – International Energy Agency. – Paris: 2011. – 686 p.
16. The all-of-the-above energy strategy as a path of sustainable economic growth // USA. – 2014.
17. Sustainability challenges of lignocellulosic bioenergy crops, ICCT BRIEFING <http://www.theicct.org/>, February 2018, 13 p.

**Підрозділ 6.3.**

1. Гелетуша Г. Г. Практичний посібник з використання біомаси як палива в муніципальному секторі України (для представників державних установ та громадських організацій, що працюють у сфері екології), ГО “Агентство відновлюваної енергетики” / Г. Г. Гелетуша, Ю. Б. Матвеев, Є. М. Олійник, Д. В. Куций // Київ. – 2017. – 54 с.
2. Державні будівельні норми України “Котли опалювальні водогрійні теплопродуктивністю від 0,1 до 4,0 МВт” / ГОСТ 30735-2001. – 2003. – 17 с.
3. Державні будівельні норми України “Склад і зміст матеріалів оцінки впливів на навколишнє середовище (ОВНС) при проектуванні і будівництві підприємств, будинків і споруд” / ДБН А.2.2-1-2003. – Київ. – 2004. – 23 с.
4. Жовмир Н. М. Аналіз нормативних вимог до емісії забруднюючих речовин при сжигании биомассы / Н. М. Жовмир // Промышленная теплотехника. – 2012. – № 1. – С. 77 – 86.
5. Збірник показників емісії (питомих викидів) забруднюючих речовин в атмосферу повітря різними виробництвами, Донецьк. – 2004, Т. 1.
6. Наказ Мінпаливенерго України від 14 червня 2002 року № 359. ГКД 34.02.305-2002 “Викиди забруднювальних речовин у атмосферу від енергетичних установок. Методика визначення”.
7. Наказ Мінприроди від 13.10.2009 № 540 “Про затвердження Технологічних нормативів допустимих викидів забруднюючих речовин у атмосферне повітря із котелень, що працюють на лушпинні соняшнику”.
8. Наказ Мінприроди від 22.10.2008 № 541 “Про затвердження технологічних нормативів допустимих викидів забруднюючих речовин із теплосилових установок, номінальна теплова потужність яких перевищує 50 МВт”.

9. Наказ Мінприроди від 27.06.2006 р. № 309 “Про затвердження нормативів граничнодопустимих викидів забруднюючих речовин із стаціонарних джерел”.

10. Худолєєва Л. В. Кількісні та якісні оцінки викидів шкідливих речовин у довкіллі під час спалювання деревини порівняно з природним газом і вугіллям / Л. В. Худолєєва, Н. К. Куцоконь, Н. М. Рашидов, О. М. Дуган // ISSN 1996-4536 Біологічні Студії. – 2016. – Т. 10, № 3 – 4. – С. 61 – 70.

#### Підрозділ 6.4.

1. Гелетуха Г. Г. Біомаса як паливна сировина / Г. Г. Гелетуха, М. М. Жовмір, Є. М. Олійник, С. В. Радченко // Промислова теплотехніка. – 2011. – Т. 33, № 5. – С. 76 – 84.

2. Гелетуха Г. Г. Можливості заготівлі побічної продукції кукурудзи на зерно для енергетичного використання в Україні / Г. Г. Гелетуха, С. В. Драгнев, Т. А. Железна // Аналітична записка БАУ № 16, – 2016. – 51 с.

3. Голуб Г. А. Техніко-технологічні особливості використання соломи при прямому спалюванні / Г. А. Голуб, В. О. Дубровін, С. М. Кухарець, В. О. Шубенко, С. В. Драгнев, В. М. Поліщук // Перспективи розвитку альтернативної енергетики на Поліссі України / відп. ред. О. В. Скидан. – К. : Центр учбової літератури, – 2014. – С. 155 – 177.

4. Жовмир Н. М. Альтернативное теплоснабжение за счет использования соломы / Н. М. Жовмир, Е. Н. Олійник, С. М. Чаплыгин // Коммунальное хозяйство, – 2007, № 8. – С. 24 – 27.

5. Корінчук Д. М. Теплотехнічні характеристики твердих біопалив з торфу і біомаси як енергетичного ресурсу малої енергетики / Ю. Ф. Снежкін, Д. М. Корінчук // Промислова теплотехніка, – 2012. – Т. 34, № 6. – С. 70 – 77.

6. Кудря С. О. Атлас енергетичного потенціалу відновлюваних та нетрадиційних джерел енергії України: Енергія вітру, сонячна енергія, енергія малих рік, енергія біомаси, геотермальна енергія енергія довкілля, енергія скидногоенерготехнологічного потенціалу, енергія нетрадиційного палива / С. О. Кудря, Л. В. Яценко, Г. П. Душина, Л. Я. Шинкаренко, В. Т. Довга, П. Ф. Васько, А. О. Бриль, А. В. Шурчков, Г. М. Забарний, М. М. Жовмір, Ю. А. Віхарев // Київ: НАН України, Державний Комітет України з енергозбереження, – 2001. – 41 с.

7. Кухарець С. М. Особливості конверсії рослинної біомаси сільськогосподарського походження / С. М. Кухарець, В. В. Кухарець // Перспективи розвитку альтернативної енергетики на Поліссі України / відп. ред. О. В. Скидан. – К. : Центр учбової літератури, – 2014. – С. 113 – 154.

8. Леськів Г. З. Використання біомаси як альтернативного джерела енергії / Г. З. Леськів, О. М. Стаднічук // Науковий вісник ЛНУВМБТ імені С.З. Гжицького, – 2012. – Т. 14, № 4. – С. 305 – 309.

9. Лось Л. В. Дослідження переваг та недоліків використання рослинних відходів як сировини для отримання генераторного газу в порівнянні з іншими видами твердого палива, що використовується в газогенераторах / Л. В. Лось, В. В. Іванцов // Вісник ЖНАЕУ, – 2011. – Т. 1, № 1 (28). – С. 491 – 503.

10. Матвєєв Ю. Б. Оцінка енергетичного потенціалу біомаси в Україні. Частина 1. Відходи сільського господарства та деревна біомаса / Г. Г. Гелетуха, Т. А. Железна, М. М. Жовмір, Ю. Б. Матвєєв, О. І. Дроздова // Промислова теплотехніка, – 2010. – Т. 32, № 6. – С. 58 – 65.

11. Олійник Є. М. Практичний посібник з використання біомаси у муніципальному секторі України (для представників державних та комунальних установ) / В. О. Антоненко, В. І. Зубенко, Є. М. Олійник, С. В. Радченко // Публікацію підготовлено на замовлення проекту Програми розвитку Організації Об'єднаних Націй та Глобального Екологічного Фонду “Розвиток та комерціалізація біоенергетичних технологій у муніципальному секторі в Україні”, – 2017. – 33 с.

12. Родькин О. И. Технологические аспекты использования соломы в качестве биотоплива / О. И. Родькин // Экологический вестник, – 2015. – № 3 (33). – С. 37 – 43.

#### Підрозділ 6.5.

1. Рамочная Конвенция ООН об изменении климата / Организация объединенных наций, 1992. – 30 с. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://unfccc.int/resource/docs/convru.pdf>.

2. Sustainable Innovation Forum, 2016. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.cop21paris.org>.

3. Леонтьев В. В. Межотраслевая экономика / В. В. Леонтьев. – М.: Экономика, 1997. – 479 с.

4. Онищенко А. М. Методологія математичного моделювання економіко-екологічної взаємодії в умовах реалізації Кіотського протоколу / І. М. Ляшенко, А. М. Онищенко // Економічна кібернетика. – 2011. – № 4 – 6 (70 – 72). – С. 17 – 26.

5. Ляшенко І. М. Економіко-математичні методи та моделі сталого розвитку / І. М. Ляшенко. – К.: Вища школа, 1999. – 236 с.

6. Кудін В. І. Схеми декомпозиції великорозмірних матриць спеціальної структури при моделюванні фільтрації двофазної рідини / В. І. Кудін, Д. А. Ключин. – Журнал обчислювальної та прикладної математики. – 2003. – № 2 (89). – С. 55 – 65.

7. Кудин В. И. Анализ свойств линейной системы методом псевдобазисных матриц / В. И. Кудин, С. И. Ляшко, Н. В. Харитоненко, Ю. П. Яценко. – Кибернетика и системный анализ. – 2007. – № 4. – С. 119 – 127.

#### Підрозділ 6.6.

1. H. Bove, R. Bitsko, J. Zonie, E. Sandel // Elec. World. – 1985. – Vol. 199, № 12. – P. 44 – 46.

2. Saleem A. Аммиачная абсорбция SO<sub>2</sub> приобретает значение / A. Saleem, K. E. Janssen, P. A. Ireland // Мир серы, N, P, K. – 1994. – № 4. – С. 23 – 29.

3. Ветошкин А. Г. Инженерная защита окружающей среды от вредных выбросов. Учебное пособие. 2-е изд. испр., в 2-х частях / А. Г. Ветошкин. – М.: Инфра-Инженерия, 2016. – 416 с.
4. Вольчин И. А. Технологии сухой и полусухой сероочистки дымовых газов угольных ТЭС / И. А. Вольчин, А. А. Ясинецкий // Энергетика та електрифікація. – 2012. – № 5. – С. 51 – 56.
5. Гладкий А. В. Современное состояние и перспективы мирового развития методов десульфуризации отходящих промышленных газов / А. В. Гладкий // Промышленная и санитарная очистка газов. – М.: ЦИНТИХИМНЕФТЕМАШ, 1990. – 28 с.
6. Екологічні аспекти використання деревних паливних ресурсів. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://bio.ukrbio.com/ua/articles/3589>.
7. Податковий кодекс України, Стаття 243 п. 1. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/2755-17>.
8. Серебрянский Д. О. Экспериментальные исследования эффективности очистки дымовых газов от твердых частиц та діоксиду сірки / Д. О. Серебрянский, М. В. Семенюк, С. В. Плашихін // Экология и промышленность. – 2015. – № 1. – С. 46 – 50.
9. Сігал О. І. Дослідження розпалювання нткш за допомогою твердого палива / О. І. Сігал, О. В. Канигін, Г. П. Кучин, В. Я. Скрипко, Є. Й. Бикоріз // XXII міжнародная конференция “Проблемы экологии и эксплуатации объектов энергетики”. Сборник трудов. – 2012. – С. 113 – 118.

### **Підрозділ 6.7.**

1. Сокол Л. М. Удосконалення управління екологічною складовою сільськогосподарського землекористування / Л. М. Сокол // Вісник НУБіП України: Серія “Економіка, аграрний менеджмент та бізнес”. – 2014. – Вип. 200, Ч.1. – С. 298 – 304.
2. VandanaShiva. Howeconomicgrowthhasbecomeanti-life [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.theguardian.com/commentisfree/2013/nov/01/how-economic-growth-has-become-anti-life>.
3. Державна служба статистики України [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://ukrstat.gov.ua>.
4. Сокол Л. М. Концептуальні основи сталого розвитку сільськогосподарського природокористування / Л. М. Сокол // Вісник НУБіП України: Серія “Економіка, аграрний менеджмент та бізнес”. – 2013. – Вип. 181, Ч. 2. – С. 299 – 306.
5. Теоретичні питання поводження з генетично модифікованими організмами [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://www.sharaprynt.com.ua/load/referaty/referaty/teoretichni\\_pitannja\\_povodzhennja\\_z\\_genetichno\\_modifikovanimi\\_organizmami/6-1-0-380](http://www.sharaprynt.com.ua/load/referaty/referaty/teoretichni_pitannja_povodzhennja_z_genetichno_modifikovanimi_organizmami/6-1-0-380).
6. Про Загальнодержавну програму формування національної екологічної мережі України на 2000 – 2015 роки: Закон України [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon.rada.gov.ua/cgi-bin/laws/main.cgi?nreg=1989-14>.
7. Екологія та охорона навколишнього природного середовища [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://pidruchniki.com/19240701/ekologiya/suchasniy\\_stan\\_gruntiv\\_ukrayini\\_shlyahi\\_yogo\\_polipshennya](http://pidruchniki.com/19240701/ekologiya/suchasniy_stan_gruntiv_ukrayini_shlyahi_yogo_polipshennya).
8. Екологічні проблеми агропромислового комплексу [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://buklib.net/books/23475>.
9. Кірейцева О. В. Екологічні проблеми в сільському виробництві / О. В. Кірейцева // Вісник НУБіП України. Серія “Економіка, аграрний менеджмент, бізнес” / редкол.: С. М. Ніколаєнко (відп. ред.) та ін. – 2016. – Вип. 244. – С. 274 – 282.
10. Постанова Верховної Ради України про основні напрями державної політики України у галузі охорони довкілля, використання природних ресурсів та забезпечення екологічної безпеки [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.ecobank.org.ua/NB/DocLib/1.2.07.pdf>.
12. Охорона водного середовища [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://urokof.net/?id=NzQ0>.
12. Тимчасовий порядок ввезення, державного випробування, реєстрації та використання трансгенних сортів рослин в Україні. Постанова [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon0.rada.gov.ua/laws/show/1304-98-p>.
13. Генетично модифікований організм [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org/wiki>.
14. Директива № 2008/99/ЄС Європейського Парламенту та Ради про правову охорону навколишнього середовища [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/994\\_a63](http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/994_a63).
15. Санітарно-епідеміологічної служби Бориспільського району Київської області та нормативів: Вода питьевая. ГОСТ2874-82 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.septech.ru/items/307>.
16. Про затвердження Державних санітарних норм та правил “Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною”. Наказ Міністерства охорони здоров’я України від 12 травня 2010 року № 400 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://search.ligazakon.ua/l\\_doc2.nsf/link1/RE17747.html](http://search.ligazakon.ua/l_doc2.nsf/link1/RE17747.html).
17. Управління землекористуванням: підруч. / [В. В. Горлачук, О. М. Гаркуша, В. Г. В’юн та ін.]; за ред. В. В. Горлачука. – Миколаїв: Іліон, 2006. – 376 с.

### **Підрозділ 6.8.**

1. Звіт з аналізу існуючого стану системи поводження з ТПВ в Одеській області за 2013 – 2017 рр. / ТОВ ЕСКО “Екологічні системи”. – 2017. – 37 с.
2. Інженерна екологія сільськогосподарського виробництва: [навч. посіб.] / за ред. Д. І. Мазоренка, В. Г. Цапка. – К.: Основа, 2007. – 392 с.

3. Лучшие методы реализации биогазовых энергетических проектов на полигонах ТБО [Электронный ресурс] / Агентство защиты окружающей среды США, отв. ред. пер. Ю. Б. Матвеев, 2012. – 139 с. – Режим доступа: <http://biomass.kiev.ua/useful-info/background-materials/1120-gmi-brochure>.
4. Національна стратегія управління відходами в Україні до 2030 року : [Електронний ресурс] / Розпорядження Кабінету Міністрів України від 8 листопада 2017 р. № 820. – Режим доступа: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/820-2017-p>.
5. Радовенчик В. М. Тверді відходи: збір, переробка, складування: [навч. посіб.] / В. М. Радовенчик, М. Д. Гомеля. – К: Кондор, 2010. – 552 с.
6. Руководящие принципы национальных инвентаризаций парниковых газов [Электронный ресурс] / МГЭИК, 2006. – Т. 5 Отходы. – Режим доступа: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/russian/vol5.html>.
7. Пухнюк А. Ю. Исследование газообразования на старых украинских полигонах твердых бытовых отходов / А. Ю. Пухнюк // Промышленная теплотехника. – 2011. – Т. 34 (№ 4). – С. 83 – 93.
8. Сафранов Т. А. Оптимизация системы управления и обращения с муниципальными отходами в контексте устойчивого развития урбанизированных территорий / Т. А. Сафранов, Е. Р. Губанова, Т. П. Шанина, В. Ю. Приходько // Устойчивое развитие. – № 16 (март 2014). – С. 11 – 18.
9. Сафранов Т. А. Оценка эмиссии парниковых газов из мест захоронения ТБО: критический анализ методик и адаптация к условиям Одесской области / Т. А. Сафранов, В. Ю. Приходько, Т. П. Шанина // Вісник ОДЕКУ. – 2017. – № 21. – С. 5 – 14.
10. Сафранов Т. А. Проблема розміщення відходів на звалищах та полігонах Одеської області / Т. А. Сафранов, В. Ю. Приходько, Т. П. Шанина // Вісник Харківського національного університету ім. В. Н. Каразіна. – 2016. – Вип. 14. – С. 83 – 90.
11. Сафранов Т. А. Снижение уровня антропогенной нагрузки при обращении с твёрдыми легко разлагаемыми органическими отходами / Т. А. Сафранов, Е. Р. Губанова, Т. П. Шанина, В. Ю. Приходько // Экология: образование, наука, промышленность и здоровье: Сб. докладов V международной научно-практической конференции. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2013. – С. 149 – 152.
12. Спосіб комплексної утилізації твердих побутових відходів: Патент на корисну модель № 58436 / Т. П. Шанина, О. Р. Губанова, Т. А. Сафранов, В. Ю. Коріневська. – Опубл. 11.04.2011 р. – Бюл. № 7.
13. Управління та поводження з відходами : [підручник] / за ред. Т. А. Сафранова та М. О. Кліменка. – Одеса: “ТЕС”, 2012. – 272 с.
14. Шмарин С. Л. Содержание биоразлагаемых компонентов в составе твердых бытовых отходов в Украине / С. Л. Шмарин, И. Л. Алексеев, Р. С. Филозоф, Н. С. Ремез, Г. Денафас // Экология и промышленность. – 2014. – № 1. – С. 79 – 83.
15. Landfill Gas Emission Model (LandGEM) Ver. 3.02: User's Guide. / U.S. EPA. – Washington, U.S. EPA, 2005. – 48 p. – Mode of access: <https://www3.epa.gov/ttnecat1/dir1/landgem-v302-guide.pdf>.
16. The Ukraine's Greenhouse Gas Inventory Report 1990-2015 (draft) [Electronic resource] / Ministry of Ecology and Natural Resources of Ukraine. – Kyiv, 2017. – 518 p. – Mode of access: [http://www.menr.gov.ua/docs/klimatychna-polityka/UKR\\_NIR\\_2017\\_final.pdf](http://www.menr.gov.ua/docs/klimatychna-polityka/UKR_NIR_2017_final.pdf).
17. What a Waste: a Global Review of Solid Waste Management [Electronic resource] / Daniel Hoornweg, Perinas Bhada-Tata, 2012. – 116 p. – Mode of access: <http://siteresources.worldbank.org>.

### Підрозділ 6.9.

1. Антонюк У. В. Державно-правовий механізм охорони навколишнього природного середовища в Україні і Польщі: порівняльний аналіз / У. В. Антонюк // Університетські наукові записки. – 2011. – № 4 (40). – С. 201 – 206.
2. Лисенко В. М. Аналіз процесів використання відходів АПК України в контексті сталого розвитку регіонів / В. М. Лисенко, В. В. Гімпель, В. М. Ніконорова // Вісник Сумського Національного аграрного університету, 2015. – Випуск 11 (27). – С. 60 – 63.
3. Левандовський Л. В. Природоохоронні технології та обладнання: підручник / Л. В. Левандовський, Н. О. Бублієнко, О. І. Семенова. – К.: НУХТ, 2013. – 243 с.

### Підрозділ 6.10.

1. Громадська організація “Наука, розвідка, видобування” [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [www.nrv.org.ua/тверді-промислові-відходи-економічн](http://www.nrv.org.ua/тверді-промислові-відходи-економічн).
2. Waste management [Електронний ресурс] // Official website of the European Union. – Режим доступу: [http://europa.eu/legislation\\_summaries/environment/waste\\_management/index\\_en.htm](http://europa.eu/legislation_summaries/environment/waste_management/index_en.htm).
3. Законодавство України [Електронний ресурс] // Верховна рада України [сайт]. – Режим доступу: <http://zakon4.rada.gov.ua>.
4. Кашук Д. Як вирішити проблему утилізації відходів [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://biz.nv.ua/ukr/experts/kashuk\\_d/jak-virishiti-problemu-utilizatsiji-vidhodiv-2178636.html](https://biz.nv.ua/ukr/experts/kashuk_d/jak-virishiti-problemu-utilizatsiji-vidhodiv-2178636.html).
5. Мороз С. В. Екологічна економіка Дистанційний курс / С. В. Мороз, Л. Б. Бушовська [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://dn.khnu.km.ua/dn/default.aspx?M=k0979&T=11&lng=1&st=0>.
6. Підлісна О. А. Економічна ефективність використання вторинних відходів промисловості / О. А. Підлісна, В. М. Філозоф // Економічний вісник НТУУ “КПІ”. Збірник наук праць. – 2011. – № 8 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/4697>.

7. Руденко О. В. Облік і аудит відходів виробництва та операцій з ними на гірничо-збагачувальних комбінатах: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. економ. наук: спец. 08.00.09 “Бухгалтерський облік, аналіз та аудит (за видами економічної діяльності)” / Руденко О. В. – Київ, 2009. – 22 с.

8. Семенова В. Ф. Екологічний менеджмент: навчальний посібник / В. Ф. Семенова, О. Л. Михайлюк. – К.: Знання, 2006. – 366 с.

9. Утилізація відходів у різноманітних галузях народного господарства [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://oplib.ru/stroitelstvo/view/1033943\\_util\\_zac\\_ua\\_v\\_dhod\\_v\\_u\\_r\\_znoman\\_tnih\\_galuzyah\\_narodnogo\\_gospodarstva](http://oplib.ru/stroitelstvo/view/1033943_util_zac_ua_v_dhod_v_u_r_znoman_tnih_galuzyah_narodnogo_gospodarstva).

10. Швиданенко Г. О. Удосконалення механізму державного регулювання процесів екологізації гірничо-збагачувальних підприємств [Електронний ресурс] / Г. О. Швиданенко., Д. Г. Матукова // Ефективна економіка : електронне наукове фахове видання. – Електронні дані. – [Дніпропетровськ : Дніпропетров. держ. аграрний ун-т : ТОВ “ДКС Центр”, 2014]. – № 2. – Режим доступу: [www.economy.nauka.com.ua](http://www.economy.nauka.com.ua).

11. Федорова Ю. І. Проблеми і напрямки утилізації відходів в Україні та світі [Електронний ресурс] / Ю. І. Федорова, М. О. Чупріна // Науковий інформаційний вісник “Бізнес-Інформ”: електронне наукове фахове видання. – Електронні дані. – [Київ: Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського, 2017]. – № 11. – Режим доступу: [ape.fmm.kpi.ua/issue/view/6116/showToc](http://ape.fmm.kpi.ua/issue/view/6116/showToc).

### **Підрозділ 6.11.**

1. Закон України “Про оцінку впливу на довкілля”. Відомості Верховної Ради, 2017, № 29, ст. 315 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon0.rada.gov.ua/laws/show/2059-19>.

2. Закон України “Про енергозбереження” [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon0.rada.gov.ua/laws/show/74/94-вр>.

3. Львову обіцяють зарядки для електрокарів “через кожні 15 хвилин” руху. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.ukrinform.ua/rubric-technology/2408575-lvovu-obicaut-zaradki-dla-elektromobiliv-cerez-kozni-15-hvilin-ruhu.html>.

4. Презентація видання “Роль і місце української енергетики у світових енергетичних процесах”. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://razumkov.org.ua/novyny-tsentru/prezentatsiia-vydannia-rol-i-mistse-ukrainskoi-enerhetyky-u-svitovykh-enerhetychnykh-protsesakh>.

5. Сидорчук В. Л., Давыдова Р. Т. Экологический аудит в системе управления природопользованием: муниципальный уровень. – М.: РЭФА. – 2001.

6. Електромоби́ли в Україні: кака́я ситуа́ція и це́ны. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.obozrevatel.com/economics/economy/elektromobili-v-ukraine-kakaya-situatsiya-i-tsenyi.htm>.

7. Butlin, John. Our common future. By World commission on environment and development / J. Butlin // Journal of International Development (en). – 1987. – №1(2). – p. 284 – 287.

8. Directive 2010/30/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the indication by labelling and standard product information of the consumption of energy and other resources by energy-related products.

9. Peng Wu, Sui Pheng Low. Lean and cleaner production / Peng Wu, Sui Pheng Low. – Springer, 2013. – 344 p.

### **Підрозділ 6.12.**

1. Зинюк О. Р. Основы колористики і хімії барвників: курс лекцій. Під ред. О. Поліщука / О. Р. Зинюк – ЛДУ ім. І. Франка: Львів, 1997. – 330 с.

2. Jiuhui Qu. Research progress of novel adsorption processes in water purification: A review // Journal of Environmental Sciences. – 2008. – Vol. 20. – p. 1 – 13.

3. Poroikov V. Computer-aided prediction of biological activity spectra. Application for finding and optimization of new leads / Poroikov V., Filimonov D // Rational Approaches to Drug Design, Eds. H.-D. Holtje, W. Sippl, Prous Science, Barcelona, 2002. – p. 403 – 407.

4. Манк В. В. Про можливість використання природних дисперсних мінералів для відбілювання соняшникової олії / В. В. Манк, І. І. Марцін, Л. В. Фіалковська // Хімічна промисловість України. – 1997. – № 4. – С. 30 – 33.

5. Овчаренко Ф. Д. Ионный обмен и поверхностные явления на дисперсных минералах / Ф. Д. Овчаренко // В кн: Успехи коллоидной химии. – М.: Наука, 1973. – С. 67 – 77.

6. Maliovanu M. Experience of using natural dispersible adsorbents of Ukraine for cleaning industrial drains / M. Maliovanu, Y. Gumnitsky, M. Sannikov // Konferenciya “Mikrozanieczyszczenia w srodowisku w swietle przepisow unii europejskiej”. – Ustron. – 2000. – P. 90 – 93.

7. Троцький В. І. Використання хімічно-активованих цеолітів для поглинання високомолекулярних органічних сполук / В. І. Троцький, Я. М. Ханік, С. Г. Ягольник // Збірник тез II всеукраїнської науково-практичної конференції “Біотехнологія. Освіта. Наука”: Львів, 6 – 8 жовтня 2004р. – С. 76.

8. Ємельянов О. Ю. Методичні засади оцінювання економічної ефективності впровадження ресурсозберігаючих технологій на промислових підприємствах / О. Ю. Ємельянов, Т. О. Петрушка, І. З. Крет // Вісник Національного університету “Львівська політехніка” “Проблеми економіки та управління”. – 2013. – № 754. – С. 18 – 62.

9. M. A. Petrova Sorption of Sr on Clay Minerals Modified with Ferrocyanides and Hydroxides of Transition Metals. / M. A. Petrova, I. M. Krip, A. G. Flowers, T. V. Shimchuk, I. M. Petryshka. // ISSN № 1066-3622 Radiochemistry. – 2008. Vol. 50. No.5. pp. 502 – 507.



**Підрозділ 6.13.**

1. Balancing fluctuating renewable energy generation using cogeneration and heat pump systems [Text] / Mueller S. et.al. // Energy technology. – 2014. – N. 2 (1). – P. 83 – 89.
2. Ostapenko O. P. Areas of high energy efficiency of energy supply systems with cogeneration heat pump installations of large power and peak fuel-fired boilers for heat supply systems [Text] / O. P. Ostapenko // Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences. – V (14). – Issue 132. – 2017. – P. 70 – 74.
3. Ostapenko O. P. Areas of high energy efficiency of energy supply systems with cogeneration heat pump installations of small power and peak electric boilers [Text] / O. P. Ostapenko // Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences. – V (16). – Issue 148. – 2017. – P. 85 – 89.
4. Ostapenko O. P. Areas of high energy efficiency of energy supply systems with cogeneration heat pump installations of small power and peak electric boilers in heat supply systems [Text] / O. P. Ostapenko // Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences. – V (13). – Issue 121. – 2017. – P. 77 – 80.
5. Ostapenko O. P. Areas of high energy efficiency of energy supply systems with cogeneration heat pump installations of small power and peak fuel-fired boilers [Text] / O. P. Ostapenko // Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences. – V (15). – Issue 140. – 2017. – P. 64 – 68.
6. Ostapenko O. P. Scientific basis of evaluation energy efficiency of heat pump plants: monograph [Text] / O. P. Ostapenko. – Saarbrücken, LAP LAMBERT Academic Publishing, 2016. – 62 p.
7. Ostapenko O. P. Spheres of high energy efficiency of energy supply systems with cogeneration heat pump installations of large power and peak fuel-fired boilers [Text] / O. P. Ostapenko // Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences. – IV (12). – Issue 110. – 2016. – P. 64 – 67.
8. Upscaling a district heating system based on biogas cogeneration and heat pumps [Electronic resource] / Richard P. et.al. // Energy, sustainability and society. – 2015. – N. 5 (16). – Available at: <https://doi.org/10.1186/s13705-015-0044-x>. (Дата звертання 20.03.18).
9. Остапенко О. П. Вибір пікових джерел теплоти для енергоефективних систем енергозабезпечення з парокompресійними когенераційно-теплонасосними установками [Текст] / О. П. Остапенко // Прикладні науково-технічні дослідження: матеріали міжнародн. наук.-практ. конф. (5 – 7 квітня 2017 р., Академія технічних наук України, м. Івано-Франківськ). – Івано-Франківськ : Симфонія форте, 2017. – С. 71.
10. Остапенко О. П. Енергетична ефективність парокompресійних теплових насосів з електричним та когенераційним приводами [Електронний ресурс] / О. П. Остапенко, В. В. Лещенко, Р. О. Тіхоненко // Наукові праці ВНТУ. – 2014. – № 4. – Режим доступу до журн.: <http://praci.vntu.edu.ua/index.php/praci/article/view/421/419>. (Дата звертання 20.03.18).
11. Остапенко О. П. Енергетична ефективність систем енергозабезпечення на основі комбінованих когенераційно-теплонасосних установок [Електронний ресурс] / О. П. Остапенко, В. В. Лещенко, Р. О. Тіхоненко // Наукові праці ВНТУ. – 2015. – № 4. – Режим доступу до журн.: <http://praci.vntu.edu.ua/index.php/praci/article/view/454/452>. (Дата звертання 20.03.18).
12. Остапенко О. П. Енергетична ефективність систем енергозабезпечення на основі комбінованих когенераційно-теплонасосних установок і пікових джерел теплоти [Електронний ресурс] / О. П. Остапенко // Наукові праці ВНТУ. – 2016. – № 1. – Режим доступу до журн.: <http://praci.vntu.edu.ua/index.php/praci/article/view/462/460>. (Дата звертання 20.03.18).
13. Остапенко О. П. Енергетичні переваги застосування парокompресійних теплових насосів з електричним та когенераційним приводами [Електронний ресурс] / О. П. Остапенко, В. В. Лещенко, Р. О. Тіхоненко // Наукові праці ВНТУ. – 2015. – № 1. – Режим доступу до журн.: <http://praci.vntu.edu.ua/index.php/praci/article/view/437/435>. (Дата звертання 20.03.18).
14. Остапенко О. П. Енергоефективність систем енергозабезпечення з когенераційно-теплонасосними установками та піковими джерелами теплоти в системах тепlopостачання [Електронний ресурс] / О. П. Остапенко // Наукові праці ВНТУ. – 2016. – № 2. – Режим доступу до журн.: <http://praci.vntu.edu.ua/index.php/praci/article/view/472/470>. (Дата звертання 20.03.18).
15. Остапенко О. П. Комплексна оцінка енергетичної ефективності парокompресійних теплонасосних станцій з когенераційним приводом [Електронний ресурс] / О. П. Остапенко // Наукові праці ВНТУ. – 2015. – № 3. – Режим доступу до журн.: <http://praci.vntu.edu.ua/index.php/praci/article/view/2/2>. (Дата звертання 20.03.18).
16. Остапенко О. П. Методичні основи з комплексного оцінювання енерго-еколого-економічної ефективності систем енергозабезпечення з когенераційно-теплонасосними установками та піковими джерелами теплоти [Електронний ресурс] / О. П. Остапенко // Наукові праці ВНТУ. – 2017. – № 3. – Режим доступу до журн.: <https://praci.vntu.edu.ua/index.php/praci/article/view/515/507>. (Дата звертання 20.03.18).
17. Остапенко О. П. Методичні основи з оцінювання енергоекономічної ефективності систем енергозабезпечення з когенераційно-теплонасосними установками та піковими джерелами теплоти [Текст] / О. П. Остапенко // Наукові праці ОНАХТ. – 2017. – Т. 81. – Вип. 1. – С. 136 – 141.
18. Остапенко О. П. Методичні основи комплексного оцінювання енергетичної ефективності парокompресійних теплонасосних станцій з електричним та когенераційним приводом [Текст] / О. П. Остапенко // Наукові праці ОНАХТ. – 2015. – Вип. 47. – Т. 2. – С. 157 – 162.
19. Остапенко О. П. Наукові основи з оцінювання систем енергозабезпечення на основі когенераційно-теплонасосних установок [Текст] / О. П. Остапенко // Актуальні проблеми енергетики та екології: матеріали XVI Всеукраїнської науково-технічної конференції (5 – 7 жовтня 2016 р., м. Одеса). – Херсон : ФОП Грінь Д. С., 2016. – С. 15 – 17.

20. Остапенко О. П. Области высокой энергоэффективности систем энергообеспечения з когенераційно-теплонасосними установками малої потужності та паливними котлами в системах теплопостачання [Електронний ресурс] / О. П. Остапенко // Наукові праці ВНТУ. – 2017. – № 1. – Режим доступу до журн.: <https://praci.vntu.edu.ua/index.php/praci/article/view/499/496>. (Дата звертання 20.03.18).
21. Остапенко О. П. Области энергоэффективной работы систем энергообеспечения з когенераційно-теплонасосными установками та піковими джерелами теплоти [Електронний ресурс] / О. П. Остапенко // Наукові праці ВНТУ. – 2016. – № 3. – Режим доступу до журн.: <http://praci.vntu.edu.ua/index.php/praci/article/view/479/478>. (Дата звертання 20.03.18).
22. Остапенко О. П. Области энергоэффективной работы систем энергообеспечения з когенераційно-теплонасосными установками та піковими джерелами теплоти в системах теплопостачання [Електронний ресурс] / О. П. Остапенко // Наукові праці ВНТУ. – 2016. – № 4. – Режим доступу до журн.: <https://praci.vntu.edu.ua/index.php/praci/article/view/487/486>. (Дата звертання 20.03.18).
23. Остапенко О. П. Показники енергоекономічної ефективності систем энергообеспечения на основі когенераційно-теплонасосних установок та пікових джерел теплоти [Електронний ресурс] / О. П. Остапенко, В. М. Портнов, А. Д. Волошин // Електронне наукове видання матеріалів XLVI науково-технічної конференції Вінницького національного технічного університету (22 – 24 березня 2017 р., Вінниця). – Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fbtegp/all-fbtegp-2017/paper/view/2875/2248>. (Дата звертання 20.03.18).
24. Остапенко О. П. Холодильна техніка та технологія. Теплові насоси : навчальний посібник [Текст] / О. П. Остапенко. – Вінниця : ВНТУ, 2015. – 123 с.
25. Шит М. Л. Комбинированная система централизованного теплоснабжения и горячего водоснабжения на базе ТЭЦ и квартальных тепловых насосов [Электронный ресурс] / М. Л. Шит, В. И. Бурчиу // Problemele energeticii regionale. – 2015. – №3(29). – Режим доступу к журн.: [http://journal.ie.asm.md/assets/files/09\\_03\\_29\\_2015.pdf](http://journal.ie.asm.md/assets/files/09_03_29_2015.pdf). (Дата звертання 20.03.18).

#### **Підрозділ 6.14.**

1. Параска Г. Б., Миколок О. А. Оцінка ефективності використання електричних систем опалення // ISSN 1813-5420. Енергетика: економіка, технології, екологія. – 2015. – № 4. – С.73 – 79.
2. Патент на корисну модель №57479, F24D 3/08 Система теплопостачання / Андрющенко А. М., Панасюк О. В. – заявл. 2006.01, опубл. 25.02.2011, бюл. № 4/2011.
3. Alessia Arteconi, Dieter Patteeuw, Kenneth Bruninx. Active demand response with electric heating systems: Impact of market penetration // Applied Energy. – 2016. – Vol. 177. – pp. 636 – 648.
4. Alessia Arteconi, Dieter Patteeuw, Kenneth Bruninx. Integrated modeling of active demand response with electric heating systems coupled to thermal energy storage systems. // Applied Energy. – 2015. vol. 151. – pp. 306 – 319.
5. Jelena Ziemele, Armands Gravelins, Andra Blumberga, Dagnija Blumberga. Sustainability of heat energy tariff in district heating system: Statistic and dynamic methodologies // Energy. – 2017. – vol 137. – pp.834 – 845.
6. Jinghua Li, Jiakun Fang, Qing Zeng / Optimal operation of the integrated electrical and heating systems to accommodate the intermittent renewable sources // Applied Energy. – 2016. – vol.167. – pp. 244 – 254.
7. Punnaiah Veeraboina, Guduri Yesuratnam. Significance of design for energy conservation in buildings: building envelope components. // Int. J. of Energy Technology and Policy. – 2013. – vol. 9. – no. 1. – pp. 34 – 52.

#### **Підрозділ 6.15.**

1. Большаков Б. Е. Научные основы проектирования в системе “природа – общество – человек” / Большаков Б. Е. – М. – СПб – Дубна: Гуманистика, 2002. – 616 с.
2. Патракеєв І. М. Онтологічне дослідження міського середовища // Збірник наукових праць “Управління розвитком складних систем” – К.: КНУБА, 2015. – Частина 1, № 23. – С. 159 – 168.
3. Яншин А. Л. Учение В. И. Вернадского о биосфере и современность / Яншин А. Л. – Сборник “На пути к устойчивому развитию”. – М., 2007. – С. 39 – 61.
4. Чекмарев А. Н. Квалиметрия и управление качеством. Ч.1. Квалиметрия. учебное пособие / А. Н. Чекмарев. – Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та. 2010. – 172 с.
5. Urban development and urban metabolism: A spatial approach. Режим доступу: [http://sume.at/project\\_downloads](http://sume.at/project_downloads).
6. Paola C., Giulia P., Marco B. Urban metabolism analysis as a support to drive metropolitan development world. Multidisciplinary Civil Engineering-Architecture-Urban Planning. Procedia Engineering 161 (2016) 1588 – 1595.
7. Butera F. UN Habitat – State of the World’s Cities 2008-2009 / F. Butera – Harmonious cities, Earthscan. 2008.
8. European Green City Index, Assessing the environmental impact of Europe’s major cities. Research project conducted by the Economist Intelligence Unit – Munich: Siemens AG – 2009.
9. Kennedy, C. The Changing Metabolism of Cities / Kennedy C., Cuddihy J., Engel-Yan J. // Journal of Industrial Ecology, v. 11 n. 2 – 2007.
10. Caputo P. Paradigm shift in urban energy systems through distributed generation. / Caputo P., Costa G., Manfren M. // Methods and models, London: Paperback. – 2010.
11. Acebillo J. LNL – La Nuova Lugano, Visioni, sfide e territorio della citta / Acebillo J., Maggi R. // Lugano: CUP-IRE. – 2008.
12. Graham S. Splintering urbanism: networked infrastructures, technological mobilities and the urban condition / Graham S., Marvin S. – London: Routledge – 2013.
13. Harvey D. Megacities Lecture 4. / Harvey D. – Possible urban Worlds. Amersfort: Twynstra Gudde. – 2011.

**Підрозділ 6.16.**

1. Савицький О. Відходи теплової енергетики – джерело проблем чи можливостей? [Електронний ресурс] / О. Савицький. – Режим доступу: <http://prugoda.in.ua/necu/vidhody-vuhilnoyi-promyslovosti>.
2. Зозуля І. Відходи. Реальне джерело доходів [Електронний ресурс] / І. Зозуля. – Режим доступу: <http://infolviv.eu/blog/2014/10/14/vidhody-realne-dzherelo-doxodiv>.
3. Довкілля України за 2016 рік: стат. збірник. – Київ: Державна служба статистики України, 2017. – 226 с.
4. Филиппенко Ю. Н. Промышленные отходы угольного предприятия: пути их использования и улучшения экологической обстановки / Ю. Н. Филиппенко, П. Т. Скляр, Е. В. Харлова // Збагачення корисних копалин. – 2012. – Вип. 50 (91). – С. 33 – 38.
5. Папин А. В. Комплексная переработка низкосортных углей и отходов углеобогащения / А. В. Панин, А. В. Неvedров, А. И. Сечин // Ползуновский Вестник. – 2014. – № 3. – С. 220 – 223.
6. Плахотний С. А. Шляхи зменшення негативного впливу породних відвалів ліквідованих шахт на екологічний стан вугледобувних регіонів / С. А. Плахотний, А. В. Павличенко // Форум гірників – 2016: матеріали Міжнар. наук.-практ. конф., м. Дніпро, 5 – 8 жовтня 2016 р. – Т. 2. – Дніпро: Нац. гірничий ун-т, 2016. – С. 229 – 233.
7. Мурко В. И. Развитие экологически чистых технологий по использованию отходов обогащения и сжигания угля / В. И. Мурко, О. В. Тайлаков, В. А. Хямяляйнен, В. О. Шеховцова // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2016. – № 10. – С. 249 – 258.
8. Фурсова Т. Н. Использование в теплоэнергетике отходов углеобогащения при сжигании в кипящем слое [Электронный ресурс] / Т. Н. Фурсова. – Режим доступа: <http://repo.uipa.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/1558/3/Fursova%20T.%20N.pdf>.
9. Дунаєвська Н. І. Чисті вугільні технології в енергетиці України [Електронний ресурс] / Н. І. Дунаєвська. – Режим доступу: <http://www.dtek.com/content/files/dunaievaska.pdf>.
10. Череватский Д. Ю. Из грязи в князи: электроэнергия из отходов обогащения угля [Электронный ресурс] / Д. Ю. Череватский, М. А. Солдак. – Режим доступа: [https://zn.ua/energy\\_market/iz-gryazi-v-knyazi-elektroenergiya-iz-othodov-obogascheniya-uglya\\_html](https://zn.ua/energy_market/iz-gryazi-v-knyazi-elektroenergiya-iz-othodov-obogascheniya-uglya_html).
11. Полулях А. Д. Складирование жидких отходов углеобогащения в породных отвалах / А. Д. Полулях, А. Н. Корчевский, И. В. Еремеев // Уголь Украины. – 2015. – № 6. – С. 48 – 51.
12. Егурнов А. И. Технология получения и перспективы применения суспензионного углеродного топлива на основе вторичных топливных энергоносителей / А. И. Егурнов, С. Д. Борук // Современная наука. – 2013. – № 2 (13). – С. 18 – 21.
13. Турчанинова Н. А. Напрямки використання відходів вугільної промисловості [Електронний ресурс] / Н. А. Турчанинова, Р. О. Фурман, Ю. О. Юсипук. – Режим доступу: <http://ea.donntu.edu.ua/bitstream/123456789/17370/1/%96.pdf>.
14. Лісачук Г. В. Керамічні матеріали на основі відходів вугільної промисловості: монографія / Г. В. Лісачук, Л. П. Шукіна, О. Ю. Федоренко, В. В. Цовма. – Харків: НТУ “ХП”, 2016. – 140 с.
15. Шпирько Н. В. Строительные материалы с использованием отходов углеобогащения / Н. В. Шпирько, С. В. Бондаренко // Строительство, материаловедение, машиностроение. – 2017. – Вып. 99. – С. 213 – 217.

**Наукове видання**

# **ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ ТА ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ: ЕКОНОМІЧНИЙ, ТЕХНІКО- ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ТА ЕКОЛОГІЧНИЙ АСПЕКТИ**

**Колективна монографія**

Надруковано у ПП “Астрая”  
Свідоцтво про державну реєстрацію  
серія ДК № 5599 від 19.09.2017 р.  
36014, м. Полтава, вул. Шведська, 20-Б, кв. 4  
Підписано до друку 18.12.2018 р.  
Формат 60x84/16. Папір офсетний. Гарнітура ШРИФТ.  
Друк різнографічний. Умовн. друк. арк. 55,74.  
Наклад 500 шт. Замовлення 2018-20

**Видавництво ПП “Астрая”**  
36014, м. Полтава, вул. Шведська, 20, кв. 4  
Тел.: +38 (0532) 509-167, 611-694  
E-mail: [astraya.pl.ua@gmail.com](mailto:astraya.pl.ua@gmail.com), веб-сайт: [astraya.pl.ua](http://astraya.pl.ua)  
Свідоцтво суб’єкта видавничої справи ДК № 5599 від 19.09.2017 р.

**Друк ПП “Астрая”**  
36014, м. Полтава, вул. Шведська, 20, кв. 4  
Тел.: +38 (0532) 509-167, 611-694  
Дата державної реєстрації та номер запису в ЄДР  
14.12.1999 р. № 1 588 120 0000 010089