

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ОДЕСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»
Інститут енергетики та комп'ютерно-інтегрованих систем
управління
Кафедра теплових електричних станцій і енергозберігаючих
технологій

Методичні вказівки
по виконанню практичної роботи
з дисципліни

«АЛЬТЕРНАТИВНІ ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ»
для здобувачів першого (бакалаврського) рівня освіти
по спеціальності – 144 ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКА
за освітньою програмою– Теплоенергетика та менеджмент
енергозбереження

ОДЕСА 2021

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ОДЕСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

Інститут енергетики та комп'ютерно-інтегрованих систем
управління

Кафедра теплових електричних станцій і енергозберігаючих
технологій

Методичні вказівки

по виконанню практичної роботи

з дисципліни

«АЛЬТЕРНАТИВНІ ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ»

для здобувачів першого (бакалаврського) рівня освіти
по спеціальності – 144 ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКА
за освітньою програмою– Теплоенергетика та менеджмент
енергозбереження

«Затверджено» на засіданні
кафедри ТЕСЕТ
Протокол №1 от 31.08.2021 р.

ОДЕСА 2021

Методичні вказівки по виконанню практичної роботи з дисципліни «Альтернативні джерела енергії» для здобувачів першого (бакалаврського) рівня освіти по спеціальності – 144 Теплоенергетика за освітньою програмою – Теплоенергетика та менеджмент енергозбереження./ Укл: Лужанська Г.В. Климчук О.А. , Одеса, Державний університет «ОДЕСЬКА ПОЛІТЕХНІКА», 2021- 37 с.

Укладач: Лужанська Г.В. к.т.н., доц.
Климчук О.А. д.т.н., проф

Рецензент: Баласанян Г.А. д.т.н., проф.

Методичні вказівки розроблені з метою забезпечення високого рівня знань майбутніх фахівців з Теплоенергетики та менеджменту енергозбереження в галузі альтернативних джерел енергії в відповідності з робочою програмою початкової дисципліни. Наведені загальні положення та рекомендації до вирішення запропонованих завдань, а також приклади розв'язання типових задач.

Вказівки призначені для здобувачів всіх форм навчання по спеціальності – 144 Теплоенергетика за освітньою програмою – Теплоенергетика та менеджмент енергозбереження.

Зміст

	стор
Вступ.....	4
Практичне завдання 1	
Порівняльна характеристика використання альтернативних та традиційних джерел енергії	5
Практичне завдання 2	
Розрахунок сонячних установок	12
Практичне завдання 3	
Геотермальне тепlopостачання	17
Практичне завдання 4	
Розрахунок вітроенергетичних установок (ВЕУ).....	22
Практичне завдання 5	
Визначення параметрів мікро і малих ГЕС.....	27
Практичне завдання 6	
Визначення параметрів приливних хвиль	31
Практичне завдання 7	
Розрахунок біогазогенераторних установок.....	33
Література.....	37

ВСТУП

Навчальна дисципліна «Альтернативні джерела енергії» викладається протягом п'ятого семестру третього курсу, складається з лекційних та практичних занять і входить в вибірку частину навчального плану підготовки першого (бакалаврського) рівня для спеціальності 144 Теплоенергетика (Теплоенергетика та менеджмент енергозбереження).

Мета викладання дисципліни – підготовка фахівців, здатних ставити і вирішувати завдання, що передбачають використання альтернативних джерел енергії (вітрової, сонячної та геотермальної енергії, гідроенергії, енергії рік, морів) в енергобалансі країни і регіону, результатом яких має бути енергозбереження в промисловості і на об'єктах житлово-комунального господарства, поліпшення екологічних умов.

Завданням вивчення дисципліни є:

- вивчати основні види відновлюваних джерел енергії
- вміти обґрунтувати вибір вживання різних альтернативних енергій
- оволодіти методиками розрахунки систем сонячного теплопостачання, сонячних колекторів, фотоелементів, вітроустановок та установок біогазу
- вивчити методи і критерії оцінки ефективності використання енергії з врахуванням економічних і екологічних вимог в конкретних умовах.

Виконання розроблених і запропонованих у вказівках завдань дозволить здобувачам засвоїти ряд загальних методологічних підходів, які широко використовуються при розв'язуванні інженерних задач і сприяти розвитку необхідних практичних навичок.

Дані методичні вказівки присвячені найважливішим розділам дисципліни і включають задачі з розділів «Порівняльна характеристика використання альтернативних та традиційних джерел енергії», «Розрахунок сонячних установок», «Геотермальне теплопостачання», «Розрахунок вітроенергетичних установок (ВЕУ)», «Визначення параметрів мікро і малих ГЕС», «Визначення параметрів приливних хвиль», «Розрахунок біогазогенераторних установок», а також методичні рекомендації до їх виконання, приклади розв'язку задач, перелік основної та допоміжної літератури для підготовки за курсом «Альтернативні джерела енергії»

ПРАКТИЧНЕ ЗАВДАННЯ 1

ПОРІВНЯЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ВИКОРИСТАННЯ АЛЬТЕРНАТИВНИХ ТА ТРАДИЦІЙНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ

Завдання 1.1 Характеристика альтернативних та традиційних джерел енергії

Нетрадиційні (відновлювальні) джерела енергії – це джерела постійних або періодичних потоків енергії в навколишньому середовищі, які функціонують без участі людини

Невідновлювальні джерела енергії – це природні запаси речовин і матеріалів, які можуть бути використані людиною для виробництва енергії. Прикладом можуть служити ядерне паливо, вугілля, нафта, газ. Енергія невідновлюваних джерел на відміну від поновлюваних знаходиться в природі у зв'язаному стані і вивільняється в результаті цілеспрямованих дій людини

Розвиток нетрадиційних та відновлюваних джерел енергії в Україні представлено на рис 1.1

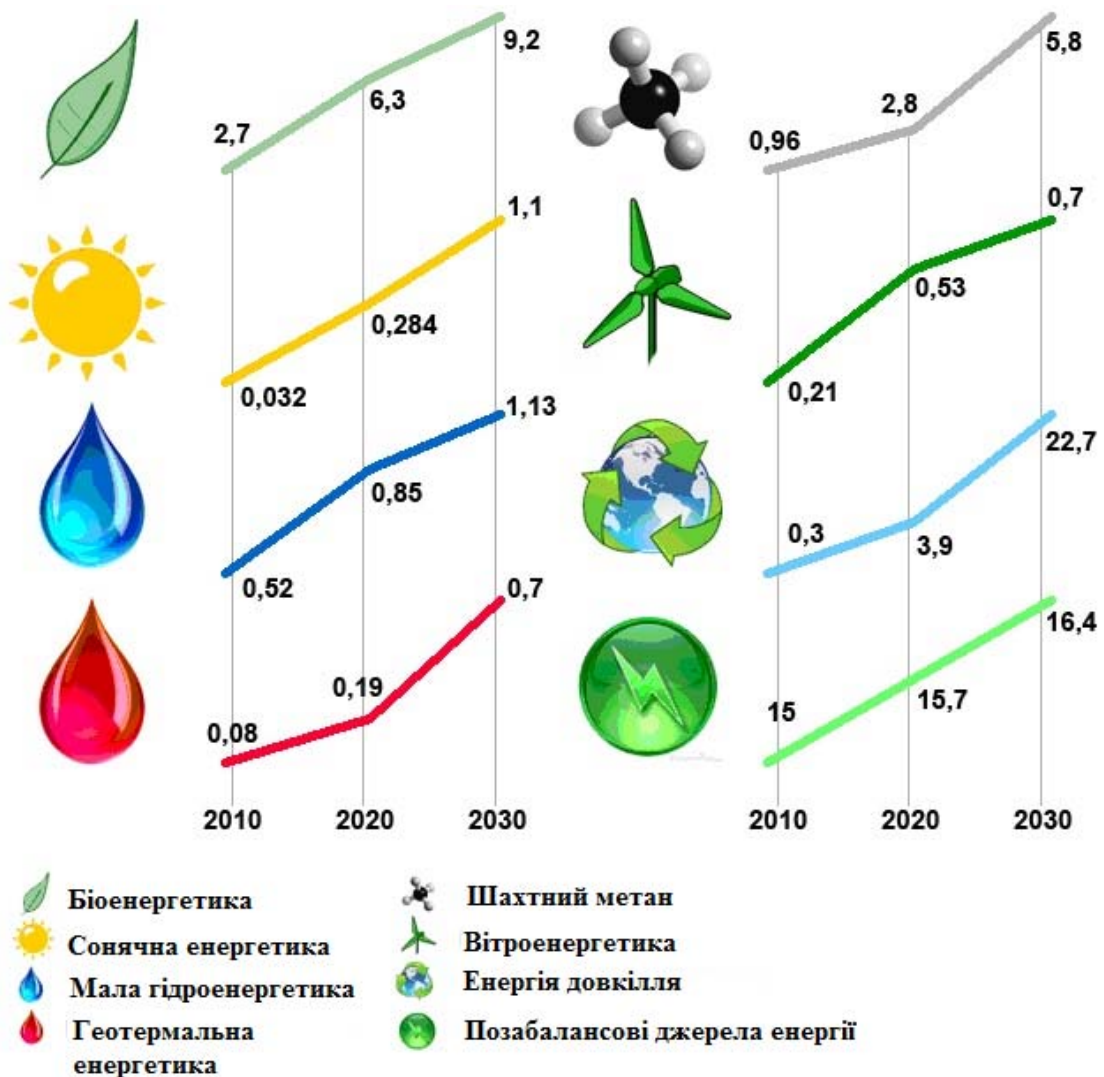


Рис 1.1 – Базовий сценарій Енергетичної стратегії України до 2030 року, дані в млн т. умовного палива

До відновлювальних джерел енергії (ВДЕ) зазвичай відносять:

1) ВДЕ сонячного походження: власне енергія сонячної радіації; гідравлічна енергія річок; енергія вітру; енергія біомаси

енергія океану (різниця температур води, хвилі, різниця соленистей морської і прісної води).

2) До несонячних ВДЕ відносяться: геотермальна енергія; енергія припливів.

Крім того, до ВДЕ відносять різні відходи і джерела низько потенційного тепла в поєднанні з тепловими насосами.

Переваги поновлюваних енергетичних ресурсів:

- за своєю природою вони невичерпні;
- технічний потенціал у багато разів перевищує потенціал всіх запасів палива на планеті і може забезпечити довгострокову перспективу їх використання;
- екологічно чисті: не виділяють вуглекислий газ, від них мало відходів, тим більше небезпечних;
- можуть використовуватися конструкціями будівлі з метою його енергопостачання;
- відсутність потреби у воді (сонячні, вітрові електростанції).

Недоліки поновлюваних енергетичних ресурсів:

- вони дуже розсіяні і циклічні;
- місцезнаходження цих ресурсів, як правило, віддалене від центрів енергетичного попиту;
- освоєння деяких джерел енергії призводить до ряду проблем (АЕС - радіаційні витоки в екстремальних умовах, ГЕС - затоплення значних територій, вітроенергетичні установки призводять до виникнення побічних інфразвукових коливань і т. п.).

Заповнити таблиці 1.1 і 1.2 і порівняти нетрадиційні (відновлювальні) та невідновлювальні джерела енергії

Таблиця 1.1 - Порівняльна характеристика енергосистем на відновлюваних та невідновлювальній джерел енергії

Характеристика енергосистеми	Альтернативна (відновлювальна) форма енергії	Традиційна (не відновлювальна) форма енергії
Де знаходиться		
Форма існування		
Початкова інтенсивність		
Час існування		
Вартість енергії		

Стабільність		
Обмеження використання		
Безпека експлуатації		
Автономність		
Екологічний фактор		

Таблиця 1.2 - Переваги та недоліки відновлюваних та невідновлювальних джерел енергії

Джерела енергії		Позитивні сторони	Негативні сторони
Нетрадиційні (відновлювальні)	Сонце		
	Вітер		
	Біомаса		
Невідновлювальні	Вода		
	Вугілля		
	Нафта		
	Ядерна енергія		

Завдання 1.2 Оцінка вкладу людини в парниковий ефект

Парниковий ефект, безумовно, один з істотних кліматичних факторів. Завдяки присутності парникових газів в атмосфері середня температура земної поверхні підвищується приблизно на 33°C. До основних парникових газів, що потрапляють під дію Кіотського протоколу, відносять CO₂, CH₄, N₂O, SF₆ і фреони. Людина споживає енергію не тільки в господарській діяльності, а й у побуті. Причому, при її споживанні людина перетворює в основному енергію, отриману з викопного органічного палива, в теплову. Тому необхідно враховувати внесок побутового споживання людини енергії в парниковий ефект.

Кількість палива, витраченого на отримання необхідної кількості енергії:

$$m_i = \frac{E_{el}}{q} \quad (1.1)$$

де m_i – маса палива, кг (м³);

E_{el} – витрата електричної енергії, кВт·год;

q – питома теплота згоряння, кВт·год/кг; (кВт·год/м³) (див. таблицю 1.3).

Таблиця 1.3 - Питома теплота згоряння

Вид палива	Питома теплота згоряння, q
Вугілля	8,1 кВт·год /кг
Нафта	12,8 кВт·год /кг
Природний газ	11,4 кВт·год/м ³

Об'єм виділився при цьому вуглекислого газу:

$$V_{CO_2} = m_i \cdot q_{CO_2} \quad (1.2)$$

де V_{CO_2} – об'єм вуглекислого газу, м³;

m_i – маса палива, кг (м³);

q_{CO_2} – питома кількість вуглекислого газу, м³/кг (м³/м³) (див. таблицю 1.4).

Таблиця 1.4 - Питома кількість вуглекислого газу

Вид палива	Питома кількість вуглекислого газу , q CO ₂
Вугілля	1,7 м ³ /кг
Нафта	1,5 м ³ /кг
Природний газ	1,2 м ³ /м ³

Необхідно порахувати, скільки одна сім'я витратить електроенергії за рік з січня по грудень включно. Побудувати графік залежності кількості викидів вуглекислого газу від об'ємів спалювання різних видів палива. Зробити висновок про те, який вид викопного палива найменше забруднює навколишнє середовище. Запропонувати заходи щодо зменшення вкладу побутового споживання електроенергії в «парниковий ефект»

Витрата електричної енергії	Січень	Лютий	Березень	Квітень	Травень	Червень
Е, кВт·год	200+30№ ₂	210+35№ ₂	210+50№ ₂	180+10№ ₂	160+5№ ₂	170+15№ ₂

Витрата електричної енергії	Липень	Серпень	Вересень	Жовтень	Листопад	Грудень
Е, кВт·год	60+20№ ₂	150+15№ ₂	190+24№ ₂	165+32№ ₂	220+40№ ₂	180+20№ ₂

Приклад

Дано:

Витрата електричної енергії	Січень	Лютий	Березень	Квітень	Травень	Червень
Е, кВт·год	284	294	324	200	150	178

Витрата електричної енергії	Липень	Серпень	Вересень	Жовтень	Листопад	Грудень
Е, кВт·год	91	174	220	235	295	202

Знайти: V_{CO_2} (вугілля)= ?
 V_{CO_2} (нафта)= ?
 V_{CO_2} (газ)= ?

Рішення

Визначити кількість палива, витраченого на отримання необхідної кількості енергії:

а) для вугілля та нафти:

$$m_i = \frac{E_{el}}{q}$$

$$m_{\text{січень}}^{\text{вугілля}} = \frac{E_{el}}{q_{\text{вугілля}}} = \frac{284}{8,1} = 35,06 \text{ кг}$$

$$m_{\text{січень}}^{\text{нафта}} = \frac{E_{el}}{q_{\text{нафта}}} = \frac{284}{12,8} = 22,19 \text{ кг}$$

де m_i – маса палива, кг;

$E_{ел}$ – витрата електричної енергії, кВт·год;
 q – питома теплота згоряння, кВт·год/кг;

б) для природного газу:

$$m_i = \frac{E_{ел}}{q}$$

$$m_{січень}^{газ} = \frac{E_{ел}}{q^{газ}} = \frac{284}{11,4} = 24,91 \text{ м}^3$$

де m_i – маса палива, м³;

$E_{ел}$ – витрата електричної енергії, кВт·год;
 q – питома теплота згоряння, кВт·год/м³

Розрахунок кількості палива протягом року, витраченого на отримання необхідної кількості енергії зводимо в таблицю 1.4 .

Таблиця 1.4 - Витрата палива за рік для окремої сім'ї, кг (м³)

Витрата палива m_i	Січень	Лютий	Березень	Квітень	Травень	Червень
вугілля, кг	35,06	36,30	40,00	24,69	18,52	21,98
нафта, кг	22,19	22,97	25,31	15,63	11,72	13,91
газ, м ³	24,91	25,79	28,42	17,54	13,16	15,61

Витрата палива m_i	Липень	Серпень	Вересень	Жовтень	Листопад	Грудень
вугілля, кг	11,23	21,48	27,16	29,01	36,42	24,94
нафта, кг	7,11	13,59	17,19	18,36	23,05	15,78
газ, м ³	7,98	15,26	19,30	20,61	25,88	17,72

Витрата палива m_i	На рік
вугілля, кг	326,79
нафта, кг	206,80
газ, м ³	232,19

Об'єм виділився при цьому вуглекислого газу:

а) для вугілля та нафти:

$$V_{CO_2} = m_i \cdot q_{CO_2}$$

$$V_{CO_2}^{вугілля} = m_{січень}^{вугілля} \cdot q_{CO_2}^{вугілля} = 35,06 \cdot 1,7 = 59,6 \text{ м}^3$$

$$V_{CO_2}^{нафта} = m_{січень}^{нафта} \cdot q_{CO_2}^{нафта} = 22,19 \cdot 1,5 = 33,28 \text{ м}^3$$

де V_{CO_2} – об'єм вуглекислого газу, м³;

m_i – маса палива, кг;

q_{CO_2} – питома кількість вуглекислого газу, м³/кг.

б) для природного газу:

$$V_{CO_2} = m_i \cdot q_{CO_2}$$

$$V_{CO_2, \text{січень}}^{\text{газ}} = m_{\text{січень}}^{\text{газ}} \cdot q_{CO_2}^{\text{газ}} = 24,91 \cdot 1,2 = 37,37 \text{ м}^3$$

де V_{CO_2} – об'єм вуглекислого газу, м^3 ;

m_i – маса палива, м^3 ;

q_{CO_2} – питома кількість вуглекислого газу, $\text{м}^3/\text{м}^3$.

Розрахунок кількості викидів вуглекислого газу протягом року зводимо в таблицю 1.5.

Таблиця 1.5 - Кількість вуглекислого газу за год

Об'єм вуглекислого газу, V_{CO_2} , м^3	Січень	Лютий	Березень	Квітень	Травень	Червень
вугілля	59,60	61,70	68,00	41,98	31,48	37,36
нафта	33,28	34,45	37,97	23,44	17,58	20,86
газ	37,37	38,68	42,63	26,32	19,74	23,42

Об'єм вуглекислого газу, V_{CO_2} , м^3	Липень	Серпень	Вересень	Жовтень	Листопад	Грудень
вугілля	19,10	36,52	46,17	49,32	61,91	42,40
нафта	10,66	20,39	25,78	27,54	34,57	23,67
газ	11,97	22,89	28,95	30,92	38,82	26,58

Об'єм вуглекислого газу, V_{CO_2} , м^3	На рік
вугілля	555,54
нафта	310,20
газ	348,29

Графік залежності кількості викидів вуглекислого газу від об'ємів спалювання різних видів палива представлений на рис 1.2

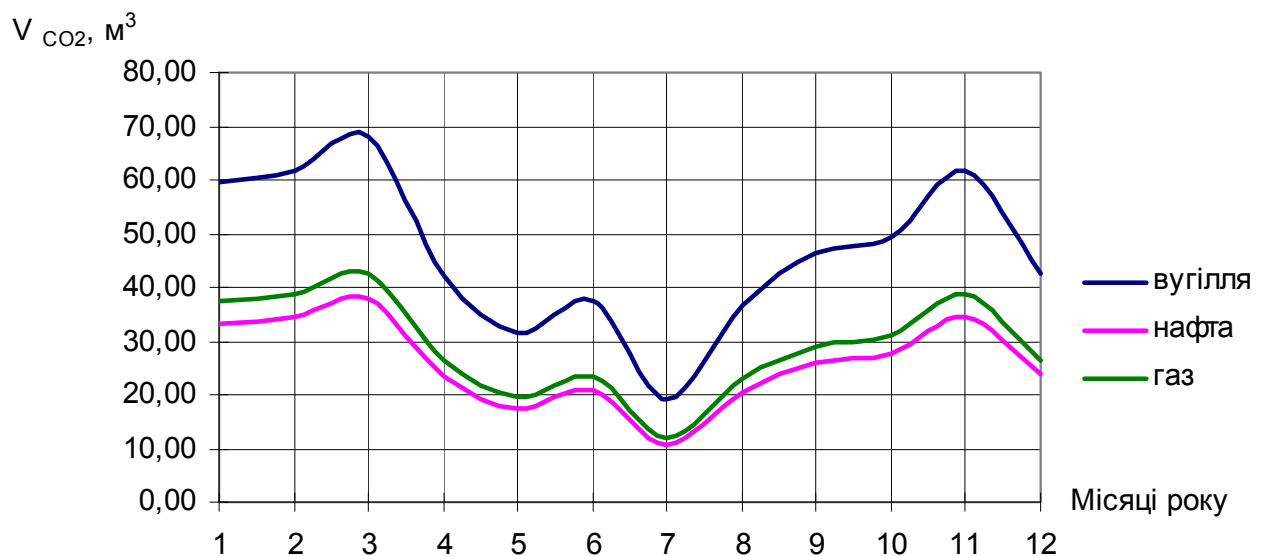


Рис 1.2 – Порівняння викидів вуглекислого газу при спалюванні різних видів палив

ПРАКТИЧНЕ ЗАВДАННЯ 2

РОЗРАХУНОК СОНЯЧНИХ УСТАНОВОК

Завдання 2.1 Системи пасивного тепlopостачання

Пасивними називаються системи сонячного опалення, в яких в якості елемента, що сприймає сонячну радіацію і перетворює її в теплоту, служать сама будівля або його окремі огорожі (будівля-колектор, стіна-колектор, покрівля-колектор і т. п. (рис. 2.1)

Відстань між скляною перегородкою і стіною визначається в залежності від ламінарного або турбулентного течії повітряної маси в каналі.

-для ламінарного

$$\delta = \frac{2H}{Nu} \quad (2.1)$$

- для турбулентного

$$\delta = H \left[0,96 \cdot Ra^{-\frac{1}{6}} \right] \cdot \left(\frac{Pr^{-\frac{2}{3}}}{2,14 + Pr^{\frac{2}{3}}} \right) \cdot Pr^{-\frac{1}{6}} \quad (2.2)$$

де H- висота стінки

Nu – критерій Нусельта, рівний

$$Nu = 0.378 Gr^{0.25} \quad (2.3)$$

Gr – критерій Гросгофа, рівний

$$Gr = \frac{\Delta t \cdot g \cdot H^3 \cdot \beta}{\nu^2} \quad (2.4)$$

Δt - різниця температур стінки і повітря

g - прискорення вільного падіння, $g=9,81 \text{ м/с}^2$

β - коефіцієнт розширення повітря, дорівнює

$$\beta = 1/(t_{\text{возд}}+273) \quad (2.5)$$

$t_{\text{возд}}$ – температура повітря

ν - кінематична в'язкість, приймається по таблиці 2.1

$$Ra = Gr \cdot Pr \quad (2.6)$$

Pr – критерій Прандтля, приймається по таблиці 2.1

Таблиця 2.1- Фізичні параметри повітря при нормальному тиску

$t_{\text{возд}}, ^\circ\text{C}$	$\rho, \text{кг/м}^3$	$\nu \cdot 10^{-6}, \text{м}^2/\text{с}$	Pr
-20	1,395	12,79	0,716
-10	1,342	12,43	0,712
0	1,293	13,28	0,707
10	1,247	14,16	0,705
20	1,205	15,06	0,703
30	1,165	16,00	0,701
40	1,128	16,96	0,699
50	1,093	17,95	0,698
60	1,060	18,97	0,696
70	1,029	20,02	0,694
80	1,000	21,09	0,692
90	0,972	22,10	0,690
100	0,946	23,13	0,688

Визначити необхідну відстань між екраном та зовнішньою стінкою будівлі, котра сприймає тепло для системи пасивного теплопостачання (режим ламінарний). При цьому висота будівлі дорівнюється $H=2,5 + 0,1N_0$, м, середня температура стінки $t_{\text{ст}} = 35+N_0, ^\circ\text{C}$, середня температура поверхні $t_{\text{пов}} = 20+N_0, ^\circ\text{C}$

Приклад

Дано: $H = 2,3 \text{ м} = 2300 \text{ мм}$
 $t_{\text{ст}} = 30 ^\circ\text{C}$
 $t_{\text{пов}} = 18 ^\circ\text{C}$

Знайти $\delta = ?$

Рішення

Gr – критерій Гросгофа, рівний

$$Gr = \frac{\Delta t \cdot g \cdot H^3 \cdot \beta}{\nu^2} = \frac{12 \cdot 9,81 \cdot 2,3^3 \cdot 0,00343}{(15,06 \cdot 10^{-6})^2} = 21,66 \cdot 10^9$$

$\Delta t = t_{\text{ст}} - t_{\text{пов}} = 30 - 18 = 12 ^\circ\text{C}$ - різниця температур стінки і повітря

g- прискорення вільного падіння, $g=9,81 \text{ м/с}^2$

β - коефіцієнт розширення повітря, дорівнює

$$\beta = 1/(t_{\text{пов}}+273) = 1/(18+273) = 0,00343 \text{ К}^{-1}$$

$\nu = 15,06 \cdot 10^{-6}$ - кінематична в'язкість, приймається в залежності від температури поверхні $t_{\text{пов}} = 18 ^\circ\text{C}$

Nu – критерій Нусельта, рівний

$$Nu = 0,378 Gr^{0,25} = 0,378 \cdot (21,99 \cdot 10^9)^{0,25} = 383,64$$

Відстань між скляною перегородкою і стіною при ламінарним перебігу повітряної маси в каналі:

$$\delta = \frac{2H}{Nu} = \frac{2 \cdot 2300}{383,64} = 11,99 \text{ мм}$$

Відповідь: відстань між стінкою і екраном 12 мм

Завдання 2.2 Розрахунок сонячного колектора

Сонячний колектор - пристрій, призначений для збору сонячної енергії, яка потрапляє на планету з видимим світлом і ближнім інфрачервоним випромінюванням.

На відміну від сонячних батарей, які виробляють безпосередньо електричну енергію, сонячний колектор нагріває теплоносії, який безпосередньо використовується для потреб теплопостачання (опалення, ГВП)

Площа поверхні сонячного колектора

$$F = \frac{0,287 \cdot G_r \cdot c_w \cdot (t_r - t_x)}{\eta \cdot \sum_{i=1}^n E_i} \quad (2.7)$$

Де F - площа поверхні сонячного колектора

G_r – витрати гарячої води за добу, кг/доба

t_r – температура гарячої води, °C

t_x – температура холодної води, °C

$c_w = 4190$ Дж/(кг·K) – теплоємність води

E_i – інтенсивність сонячної радіації, Вт/м²

Інтенсивність сонячної радіації кожного місяця, орієнтована під кутом на південь

$$E_i = E_c = 0,96(K_{np} \cdot E_{np} \cdot \theta_{np} + K_p \cdot E_p \cdot \theta_p) \quad (2.8)$$

K_{np} - коефіцієнт прямої радіації в визначається в залежності від кута нахилу колектора та географічної широти

K_p – коефіцієнт розсіяної радіації, визначається в залежності від кута нахилу колектора

$$K_p = \frac{\cos 2\beta + 1}{2} = \cos^2\left(\frac{\beta}{2}\right) \quad (2.9)$$

θ_{np} – приведена оптична характеристика колектора для прямої радіації (для колекторів з одним склом дорівнює 0,73, для двох – 0,63)

θ_p – приведена оптична характеристика колектора для розсіяної радіації (θ_p для колекторів з одним склом дорівнює 0,64, для двох – 0,42)

E_{np} , E_p - надходження прямої та розсіяної сонячної радіації

η = ККД сонячної установки

$$\eta = 0,8 \cdot \left(\theta_{np} - \frac{8 \cdot \xi \cdot (0,5(t_1 + t_2) - t_c)}{\sum E_i} \right) \quad (2.10)$$

θ_{np} – приведена оптична характеристика колектора для прямої радіації

t_1 , t_2 , t_c – відповідно температури на вході, виході з колектора, та середня температура навколишнього середовища

ξ – приведений коефіцієнт теплових втрат, Вт/(Вт/м²); (для колекторів з одним склом дорівнює 8 Вт/(Вт/м²), для двох – 5 Вт/(Вт/м²))

$t_1 = t_x + 5^\circ\text{C}$ – температура води на вході в колектор

$t_2 = t_r$ – температура води на виході з колектора

t_c – середня температура навколишнього повітря

Об'єм бака акумулятора

$$V = (0,06...0,08) \cdot F \quad (2.11)$$

Теплова потужність сонячного колектора згідно з рівненням теплового балансу:

$$Q_{\kappa} = F \cdot [E_{\kappa} \cdot \eta - K_{\text{втр}} \cdot (t_1 - t_c)] = G_2 \cdot c_6 \cdot (t_2 - t_1) \quad (2.12)$$

Для системи сонячного гарячого теплопостачання приватного будинку необхідно розрахувати площу поверхні сонячного колектора, орієнтованого на південь, з двох шарів скла для добового забезпечення гарячою водою, а також об'єм теплового акумулятора для липня місяця. Витрата гарячої води на добу $G_r=50+2N_2$ кг/год, температура $t_r = 35+N_2$ °С, температура холодної води $t_x = 10$ °С. Розташування будинку північна широта $\varphi = 49^\circ$ (для непарного номера варіанта) та $\varphi = 48^\circ$ (для парного номера варіанта); кут нахилу колектора $\beta = 45$ (для непарного варіанта) $\beta = 30$ (для парного варіанта)

Климатичні характеристики	Північна широта 48°	Північна широта 49°
Надходження прямої розсіяної сонячної радіації, $E_{\text{пр}}$, кВт/м ²	6,34	5,95
Надходження розсіяної сонячної радіації, E_p , кВт/м ²	2,56	2,6
Коефіцієнт прямої радіації, $K_{\text{пр}}$	1,06	1,03
Середня температура навколишнього повітря t_c , °С	21	20,9

Приклад

Дано: $G_r=45$ кг/год,
 $t_r = 45$ °С
 $t_x = 10$ °С
 $\varphi = 50^\circ$
 $\beta = 30$
 $t_{\text{ст}} = 30$ °С
 $t_{\text{пов}} = 18$ °С
 $E_{\text{пр}} = 6,06$ кВт/м²
 $E_p = 2,78$ кВт/м²
 $K_{\text{пр}} = 1,1$
 $t_c = 17,6$ °С
 місяць - червень
 2 шара скла
 південь

Знайти $F = ?$
 $V = ?$

Рішення

Інтенсивність сонячної радіації для юня місяця, орієнтована під кутом на південь

$$\begin{aligned} E_c &= 0,96(K_{np} \cdot E_{np} \cdot \theta_{np} + K_p \cdot E_p \cdot \theta_p) = \\ &= 0,96(1,1 \cdot 6,06 \cdot 0,63 + 0,75 \cdot 2,78 \cdot 0,42) = 4,872 \text{ кВт} \cdot \text{год}/\text{м}^2 = 4872 \text{ Вт} \cdot \text{год}/\text{м}^2 \end{aligned}$$

ККД сонячної установки

$$\eta = 0,8 \cdot \left(\theta_{np} - \frac{8 \cdot \xi \cdot (0,5(t_1 + t_2) - t_c)}{E_c} \right) = 0,8 \cdot \left(0,63 - \frac{8 \cdot 5 \cdot (0,5(15 + 45) - 17,6)}{4872} \right) = 0,42$$

$t_1 = t_x + 5^\circ\text{C} = 10 + 5 = 15^\circ\text{C}$ – температура води на вході в колектор

$t_2 = t_r = 45^\circ\text{C}$ – температура води на виході з колектора

Площа поверхні сонячного колектора

$$F = \frac{0,287 \cdot G_z \cdot c_a \cdot (t_z - t_x)}{\eta \cdot E_c} = \frac{0,287 \cdot 45 \cdot 4,19 \cdot (45 - 10)}{0,42 \cdot 4872} = 0,925 \approx 0,93 \text{ м}^2$$

Об'єм бака акумулятора

$$V = (0,06 \dots 0,08) \cdot F = 0,07 \cdot F = 0,7 \cdot 0,93 = 0,065 \text{ м}^3$$

Відповідь: площа поверхні сонячного колектора $F=0,93 \text{ м}^2$, об'єм бака акумулятора $V=0,065 \text{ м}^3$

ПРАКТИЧНЕ ЗАВДАННЯ 3

ГЕОТЕРМАЛЬНЕ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ

Завдання 3.1 Визначення теплової потужності геотермального пласта

При відомому температурному градієнті можна визначити температуру водоносного пласта перед початком його експлуатації

$$T_1 = T_0 + (dT/dz) \cdot z, \quad (3.1)$$

де T_0 - температура на поверхні Землі, К ($^{\circ}$ С).

У практиці характеристики геотермальної енергетики зазвичай відносять до 1 км² поверхні F.

Теплоємність пласта $C_{пл}$ (Дж/К) :

$$C_{пл} = [\alpha \cdot \rho_v \cdot C_v + (1 - \alpha) \cdot \rho_{гр} \cdot C_{гр}] \cdot h \cdot F, \quad (3.2)$$

де ρ_v и C_v - відповідно щільність і ізобарна питома теплоємність води;
 $\rho_{гр}$ и $C_{гр}$ - щільність і питома теплоємність ґрунту (порід пласта);
зазвичай $\rho_{гр} = 820-850$ Дж/(кг·К).

Якщо задати мінімально допустиму температуру, при якій можна використовувати теплову енергію пласта T_1 (К), то можна оцінити його тепловий потенціал до початку експлуатації (Дж):

$$E_0 = C_{пл} \cdot (T_2 - T_1) \quad (3.3)$$

Постійну часу пласта τ_0 (можливий час його використання, років) в разі відведення теплової енергії шляхом закачування в нього води з об'ємною витратою V (м³/с) можна визначити за рівнянням:

$$\tau_0 = C_{пл} / (V \cdot \rho_v \cdot C_v) \quad (3.4)$$

Вважають, що тепловий потенціал пласта під час його розробки змінюється за експоненціальним законом:

$$E = E_0 \cdot e^{-\tau/\tau_0} \quad (3.5)$$

де τ - число років з початку експлуатації;

e - підстава натуральних логарифмів.

Теплова потужність геотермального пласта в момент часу τ (років з початку розробки) в Вт (МВт):

$$\left(\frac{dE}{d\tau} \right)_{\tau} = - \frac{E_0}{\tau_0} \exp\left(- \frac{\tau}{\tau_0} \right) \quad (3.6)$$

Визначити початкову температуру t_2 і кількість геотермальної енергії E_0 (Дж) водоносного пласта товщиною $h=0,8$ км при глибині залягання $z=5+0,1N_0$ км, якщо задані характеристики породи пласта: щільність $\rho_{гр} = 2700$ кг/м³; пористість $a = 3+0,2N_0\%$; питома теплоємність $C_{гр} = 800+2N_0$ Дж/(кг·К). Температурний градієнт $(dT/dz) = 55+N_0$ °С/км

Середню температуру поверхні t_0 прийняти рівною 10 °С. Питома теплоємність води $C_в = 4200$ Дж/(кг·К); щільність води $\rho = 1 \cdot 10^3$ кг/м³. Розрахунок провести по відношенню до площі поверхні $F = 1$ км². Мінімально допустиму температуру пласта прийняти рівною $t_1 = 40$ °С.

Визначити також постійну часу вилучення теплової енергії τ_0 (років) при закачуванні води в пласт і витраті її $V = 0,1 + 0,005N_0$ м³/(с·км²). Яка буде теплова потужність, яку видобувають спочатку $(dE/dt)_{\tau=0}$ і через 10 років $(dE/dt)_{\tau=10}$?

Приклад

Дано: $h=0,8$ км
 $z=3,5$ км
 $\rho_{гр} = 2700$ кг/м³
 $\lambda_{гр} = 2$ Вт/(м·К)
 $a = 5$ %
 $C_{гр} = 840$ Дж/(кг·К)
 $(dT/dz) = 65$ °С/км
 $t_0 = 10$ °С
 $C_в = 4200$ Дж/(кг·К)
 $\rho = 1 \cdot 10^3$ кг/м³
 $F = 1$ км²
 $t_1 = 40$ °С
 $V = 0,1$ м³/(с·км²)
 1.) $\tau=0$ років
 2.) $\tau=10$ років

Знайти $t_2 = ?$
 $E_0 = ?$
 $\tau_0 = ?$

Рішення

Визначимо температуру водоносного пласта перед початком його експлуатації:

$$T_2 = T_0 + (dT/dz) \cdot z = 10 + 65 \cdot 3,5 = 237,5 \text{ °С} = 510,5 \text{ К}$$

Теплоємність пласта $C_{пл}$ (Дж/К) можна визначити за рівнянням:

$$\begin{aligned} C_{пл} &= [\alpha \cdot \rho_в \cdot C_в + (1-\alpha) \cdot \rho_{гр} \cdot C_{гр}] \cdot h \cdot F = \\ &= [0,05 \cdot 1 \cdot 10^3 \cdot 4200 + (1-0,05) \cdot 2,7 \cdot 10^3 \cdot 840] \cdot 800 \cdot 1 \cdot 10^6 = (210000 + 2154600) \cdot 800 \cdot 1 \cdot 10^6 = \\ &= 189168 \cdot 10^{10} \text{ Дж/К} = 1,9 \cdot 10^{15} \text{ Дж/К} \end{aligned}$$

Теплова потужність, яку видобувають спочатку E_0 (Дж):

$$E_0 = C_{пл} \cdot (T_2 - T_1) = 189168 \cdot 10^{10} \cdot (237,5 - 40) = 3760680 \cdot 10^{10} \text{ Дж} = 3,7 \cdot 10^{17} \text{ Дж}$$

Постійну часу пласта τ_0 (можливий час його використання, років) в разі відведення теплової енергії шляхом закачування в нього води з об'ємною витратою V ($\text{м}^3/\text{с}$) можна визначити за рівнянням:

$$\tau_0 = C_{\text{пл}} / (V \cdot \rho_{\text{в}} \cdot C_{\text{в}}) = \frac{189168 \cdot 10^{10}}{0,1 \cdot 1000 \cdot 4200} = 4504 \cdot 10^6 \text{ с} = 4,5 \cdot 10^9 \text{ с} = 143 \text{ років}$$

$$\left(\frac{dE}{d\tau} \right)_{\tau=0} = \frac{E_0}{\tau_0} \cdot e^{-\frac{\tau}{\tau_0}} = \frac{E_0}{\tau_0} \cdot 1 = \frac{3,7 \cdot 10^{17}}{4,5 \cdot 10^9} = 0,82 \cdot 10^8 \text{ Вт} = 82 \text{ МВт}$$

$$\left(\frac{dE}{d\tau} \right)_{\tau=10} = \frac{E_0}{\tau_0} \cdot e^{-\frac{\tau}{\tau_0}} = \frac{E_0}{\tau_0} \cdot e^{-\frac{10}{143}} = \left(\frac{dE}{d\tau} \right)_{\tau=0} \cdot e^{-\frac{10}{143}} = 82 \cdot e^{-\frac{10}{143}} = 76 \text{ МВт}$$

Відповідь: початкова температура $t_2 = 237,5 \text{ }^\circ\text{C}$, тепловий потенціал до початку експлуатації $E_0 = 3,7 \cdot 10^{17} \text{ Дж}$, можливий час використання пласта $\tau_0 = 143 \text{ років}$, тепла потужність, яку видобувають спочатку $\left(\frac{dE}{d\tau} \right)_{\tau=0} = 82 \text{ МВт}$, через 10 років

$$\left(\frac{dE}{d\tau} \right)_{\tau=10} = 76 \text{ МВт.}$$

Завдання 3.2 Визначення поверхні теплообмінника для системи геотермального теплопостачання

Поверхня теплообмінника

$$F = \frac{Q}{K \cdot \Delta t} \quad (3.7)$$

Δt - температурний напір, визначається як середньологарифмічну різницю:

$$\Delta t = \frac{\Delta t_{\delta} - \Delta t_{\text{м}}}{\ln \frac{\Delta t_{\delta}}{\Delta t_{\text{м}}}} \quad (3.8)$$

$$\text{Якщо } \frac{\Delta t_{\delta}}{\Delta t_{\text{м}}} < 1,7 \quad \text{то } \Delta t = \frac{\Delta t_{\delta} + \Delta t_{\text{м}}}{2} \quad (3.9)$$

Δt_{δ} - більша різниця температур

$\Delta t_{\text{м}}$ - менша різниця температур

Графіки зміни температури та необхідні розрахункові залежності вздовж поверхні нагрівання для прямоплинного і противоплинного руху теплоносіїв наведено у таблиці 3.1

Таблиця 3.1 – Графіки зміни температури для різних схем руху рідини вздовж поверхні нагрівання

Схеми руху рідини вздовж поверхні нагрівання	
Для прямопринного руху	Для протиплинного руху
$\Delta t_{\delta} = t'_{\Gamma} - t'_{\text{Б}}$	$\Delta t_{\delta} = t'_{\Gamma} - t''_{\text{Б}}$
$\Delta t_{\text{M}} = t_{\Gamma}'' - t_{\text{Б}}''$	$\Delta t_{\text{M}} = t_{\Gamma}'' - t_{\text{Б}}'$

Потужність теплового потоку теплообмінника визначаємо з рівняння теплового балансу

$$Q = G_{\text{в}} \cdot c_{\text{в}} \cdot (t_{\text{в}}'' - t_{\text{в}}') \quad (3.10)$$

Для водо-водяного теплообмінника геотермального тепlopостачання (рух протиплинний) треба розрахувати поверхню нагрівання, якщо параметри геотермальної води на вході $t_{\Gamma}' = 60 \pm 0,2 \text{ } ^\circ\text{C}$, на виході $t_{\Gamma}'' = 30 \pm 0,1 \text{ } ^\circ\text{C}$; температура води, яка нагрівається на вході $t_{\text{Б}}' = 20 \pm 0,3 \text{ } ^\circ\text{C}$, на виході $t_{\text{Б}}'' = 53 \pm 0,15 \text{ } ^\circ\text{C}$, а її витрата $G_{\text{в}} = 33 \pm 0,5 \text{ } \text{кг/с}$, коефіцієнт теплопередачі $K = 1,1 \text{ кВт}/(\text{м}^2 \text{ К})$, $c_{\text{в}} = 4190 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$ – теплоємність води

Приклад

Дано: $t_{\Gamma}' = 61 \text{ } ^\circ\text{C}$
 $t_{\Gamma}'' = 30 \text{ } ^\circ\text{C}$
 $t_{\text{Б}}' = 20 \text{ } ^\circ\text{C}$
 $t_{\text{Б}}'' = 48 \text{ } ^\circ\text{C}$
 $G_{\text{в}} = 40 \text{ кг/с}$,
 $K = 1 \text{ кВт}/(\text{м}^2 \text{ К})$
 $c_{\text{в}} = 4190 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$

Знайти $F = ?$

Рішення

Потужність теплового потоку теплообмінника визначаємо з рівняння теплового балансу:

$$Q = G_{\text{г}} \cdot c_{\text{г}} \cdot (t_{\text{г}}'' - t_{\text{г}}') = 40 \cdot 4,19 \cdot (48 - 20) = 4692,8 \text{ кВт}$$

$$\Delta t_{\text{б}} = t_{\text{г}}' - t_{\text{в}}'' = 61 - 48 = 13 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta t_{\text{м}} = t_{\text{г}}'' - t_{\text{в}}' = 30 - 20 = 10 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Визначаємо температурний напір:

$$\text{якщо } \frac{\Delta t_{\text{б}}}{\Delta t_{\text{м}}} = \frac{13}{10} = 1,3 < 1,7 \text{ то } \Delta t = \frac{\Delta t_{\text{б}} + \Delta t_{\text{м}}}{2} = \frac{13 + 10}{2} = 11,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Поверхня теплообмінника

$$F = \frac{Q}{K \cdot \Delta t} = \frac{4692,8}{1 \cdot 11,5} = 408,07 \text{ м}^2$$

Відповідь: поверхня теплообмінника $F=408,07 \text{ м}^2$

ПРАКТИЧНЕ ЗАВДАННЯ 4

РОЗРАХУНОК ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК (ВЕУ)

Завдання 4.1 Вплив вертикального профілю вітрового потоку на ефективну роботу ВЕУ

Зі збільшенням висоти поверхневі від Землі швидкість вітру зростає. Це збільшення швидкості з висотою називають градієнтом швидкості вітру.

Швидкість вітру на висоті розташування вітроколеса знаходиться з рівняння градієнта швидкості.

$$\frac{V}{V_1} = \left(\frac{H}{h} \right)^\alpha \quad (4.1)$$

де V_1 - швидкість вітру, виміряна на висоті $h=10$ м, м/с;

h - висота, на якій відомо значення швидкості вітру, дорівнює 10 м;

H - висота вежі ВЕУ, на якій буде розташовано ветроколесо, м;

V - швидкість вітру, м/с, виміряна на висоті H

α – коефіцієнт градієнта (збільшення) швидкості вітру зі збільшенням висоти.

Коефіцієнт градієнта α визначається за таблицею 4.1 в залежності від висоти перешкод, розташованих в радіусі 150 м

Таблиця 4.1 – Значення коефіцієнта градієнта швидкості вітру

Коефіцієнт градієнта вітру α	Опис місцевості в радіусі 150 м
0,1	Ідеально гладка поверхня (спокійна вода)
0,2	Плоскі пасовища, низькі чагарники (висота до 2 м)
0,3	Дерева, пагорби, будівлі на віддалі (відстань 120-150 м)
0,4	Недалеко розташовані дерева або будівлі (відстань ≤ 120 м)
0,5	Поруч розташовані дерева або будівлі (відстань ≤ 50 м)
0,6	Оточення високими деревами або будівлями (відстань ≤ 10 м)

Для ефективної роботи вітроустановки (ВЕУ) діаметром вітроколеса $D=8$ м розрахувати найменшу допустиму висота вежі, визначити швидкість вітру при значеннях висоти вежі $H= 10; 30; 60; 100$ метрів та побудувати вертикальний профіль. При цьому швидкість вітру на висоті рівній $h=10$ м складає $V_1= 9+0,1N_0$, м/с; найвища перешкода: будинок висотою $H_{зд} = 30 +0,2N_0$, м, розташований на відстані $\ell=130$ м

Приклад

Дано: $V_1= 7$ м/с
 $h=10$ м
 $D=5$ м
 $H= 10; 30; 60; 90$ м
 $\ell=140$ м
 $H_{зд} = 30$ м;

Знайти: $H=f(V_1) = ?$

Рішення

Мінімальна висота вежі ВЕУ, виходячи із загальних положень розрахунку ВЕУ, розраховується з урахуванням висоти найвищої перешкоди в радіусі 150 метрів і діаметра вітроколеса:

$$H_{\min} = H_{\text{зд}} + H_{H=10} + D/2 = 30 + 10 + 5/2 = 42,5 \text{ м}$$

Швидкості вітру на різній висоті розраховуються за формулою:

$$V = V_1 \cdot \left(\frac{H}{h} \right)^\alpha$$

Оскільки найбільш висока перешкода є одинока, має висоту понад 2 м і знаходиться на відстані 140 м від ВЕУ, коефіцієнт градієнта швидкості вітру по таблиці 4.1 становить 0,3.

Розрахунок зводимо в таблицю 4.2

Висота вежі H, м	10	30	42,5	60	90
Швидкість вітру V, м/с	7	9,73	10,80	11,98	13,53

За отриманими даними з таблиці 4.2 будуємо профіль вітру. (рис 4.1) Суцільна крива відповідає швидкості вітру при мінімальній і вище висоті вежі вітроустановки.

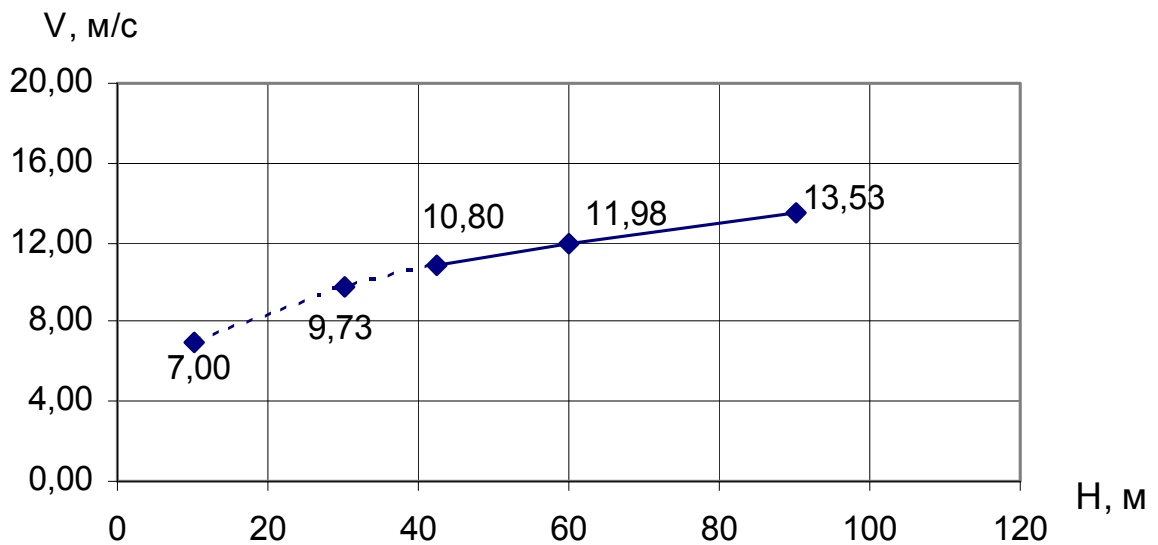


Рис 4.1 – Профіль ветру

Завдання 4.2 Визначення основних показників ВЕУ

Потужність вітроколеса і його основні показники

Кінетична енергія вітрового потоку залежить від його маси і швидкості

$$E = \frac{mV_o^2}{2} \quad (4.2)$$

V_o – швидкість вітру

m – маса повітряного потоку

$$m = \rho \cdot F \cdot V_o \quad (4.3)$$

ρ - щільність повітря

F – поперечна площа перерізу вітрового потоку

$$F = \frac{\pi D^2}{4} \quad (4.4)$$

Потужність потоку вітру:

$$N_o = \frac{\rho \cdot F \cdot V_o^3}{2} \quad (4.5)$$

Потужність вітроколеса (тобто на валу) без урахування втрат в передачах і подшібнікі

$$N = N_s = c_p \cdot N_o = \frac{1}{2} \cdot c_p \cdot \rho \cdot F \cdot V_o^3 \quad (4.6)$$

c_p - коефіцієнт використання енергії вітру, або коефіцієнт потужності, показує яка частина повітряного потоку використовується ветроколесом, залежить від конструкції вітроколеса і швидкості вітру. $c_{p \max} = 0,593$ - теоретично вичислена

Потужність генератора ВЕУ

$$N_z = N_s \cdot \eta_z \cdot \eta_n \quad (4.7)$$

η_n - коефіцієнт передачі

η_r - ККД генератора

Швидкохідність вітроколеса

$$Z = \frac{V_{кл}}{V_o} = \frac{R \cdot \omega}{V_o} \quad (4.8)$$

Z – швидкохідність

R – радіус вітроколеса

ω - кутова швидкість вітроколеса

$$Z = \frac{2 \cdot \pi}{n \cdot K} \quad (4.9)$$

n – число лопастей

K – коефіцієнт (0...1)

Частота обертання вітроколеса

$$\nu = \frac{\omega}{2\pi} \quad (4.10)$$

Визначити діаметр вітроколеса і частоту його обертів для ВЕУ з горизонтальною віссю обертання за такими даними: потужність генератора ВЕУ $N_r=4+0,5N_0$, кВт середня швидкість потоку $V_0=6+0,1N_0$, м/с, коефіцієнт використання енергії вітру $c_p=0,4$, ККД генератора $\eta_r=0,98$, коефіцієнт передачі $\eta_n=1$, коефіцієнт швидкохідності $Z=8+0,2N_0$, густина повітряного потоку $\rho=1,2$ кг/м³

Приклад

Дано: $N_r=7,3$ кВт = 7300 Вт,
 $V_0=5,5$ м/с
 $\eta_r=0,96$,
 $c_p=0,35$
 $\eta_n=1$
 $Z=7$
 $\rho=1,2$ кг/м³

Знайти $D=?$
 $\nu=?$

Рішення

Потужність генератора ВЕУ

$N_z = N_e \cdot \eta_z \cdot \eta_n$, в наслідок:

$$N_e = \frac{N_z}{\eta_z \cdot \eta_n} = \frac{7300}{0,96 \cdot 1} = 7600 \text{ Вт}$$

Площа поверхні вітроколеса:

$$F = \frac{2 \cdot N_e}{\rho \cdot V_0^3 \cdot c_p} = \frac{2 \cdot 7600}{1,2 \cdot 5,5^3 \cdot 0,35} = 217 \text{ м}^2$$

Діаметр вітроколеса

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot F}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 217}{3,14}} = 16,62 \text{ м}$$

Частота обертання

$$\nu = \frac{Z \cdot V_0}{2\pi \cdot R} = \frac{7 \cdot 5,5}{2 \cdot 3,14 \cdot 8,31} = 0,737 \text{ с}^{-1}$$

Відповідь: діаметр вітроколеса $D=16,62$ м, частота обертів $\nu=0,737$ с⁻¹

Завдання 4.3 Побудова залежності потужності на валу ВЕУ від швидкості потоку вітру

Побудувати графічну залежність потужності на валу ВЕУ від швидкості потоку вітру $N_B=f(V_o)$, яка змінюється в межах від 5 м/с до 12 м/с. Діаметр вітроколеса $D=6+0,5N_0$, м густина повітря $\rho = 1,2 \text{ кг/м}^3$, коефіцієнт використання енергії вітра $c_p = 0,3+0,01N_0$

Приклад

Дано: $D=4 \text{ м}$
 $c_p = 0,51$

Знайти $N_B=f(V_o) = ?$

Рішення

Потужність вітроколеса (тобто на валу) без урахування втрат в передачах і подшібнікі

$$N_s = \frac{1}{2} \cdot c_p \cdot \rho \cdot F \cdot V_o^3$$

Результати заносимо в таблицю 4.3

Швидкість вітру, V_o , м/с	5	6	7	8	9	10	12
Потужність на валу ВЕУ, N_B , Вт	161,52	279,11	443,22	661,60	942,01	1292,19	2232,90

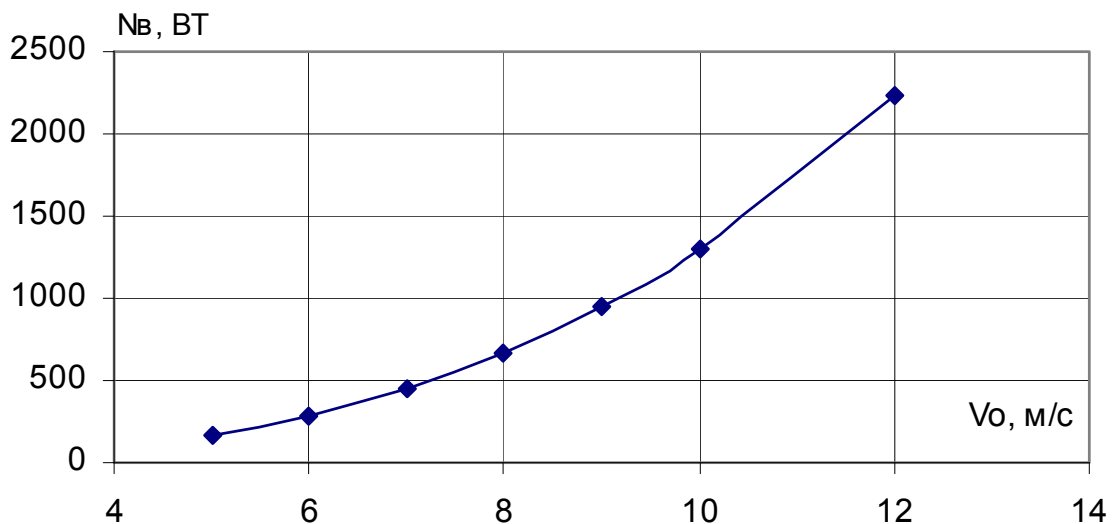


Рис 4.2 - Залежність потужності на валу ВЕУ від швидкості потоку вітру $N_B=f(V_o)$

ПРАКТИЧНЕ ЗАВДАННЯ 5

ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ МІКРО І МАЛИХ ГЕС

Завдання 5.1 Визначення основних параметрів гідравлічної турбіни

Малі та мікро-ГЕС – це об'єкти малої гідроенергетики.

Мікро-гідроелектростанція призначена для перетворення гідравлічної енергії потоку рідини в електричну для подальшої передачі згенерованої електроенергії в енергосистему. Під терміном мікро мається на увазі, що дана гідроелектростанція встановлюється на малих водних об'єктах - невеликих річках або навіть струмках, технологічних протоках або перепадах висот систем водопідготовки, а потужність гідроагрегату не перевищує 10 кВт.

МГЕС поділяють на два класи: це мікро-гідроелектростанції (до 200 кВт) і міні-гідроелектростанції (до 3000 кВт). Перші застосовуються в основному в домогосподарствах, і на невеликих підприємствах, другі - на більших об'єктах

Перетворення енергії води в електричну здійснюють за допомогою гідравлічної турбіни та електричного генератора.

Гідравлічна турбіна – це турбомашина, у якій енергія потоку води використовується для обертання ротора або робочого колеса.

Основні параметри гідротурбін

До основних параметрів гідравлічних турбін відносять:

- індикаторна потужність (на лопатках)

$$N_T = 9,81 \cdot \rho \cdot V \cdot H, \text{ Вт} \quad (5.1)$$

де H – висота, м

V – об'ємна витрата води, м³/с

$\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$ – щільність води

- ефективна потужність (на валу)

$$N_{\text{еф}} = \eta_T \cdot N_T, \text{ Вт} \quad (5.2)$$

- кутова швидкість обертання колеса гідротурбіни

$$\omega = \frac{\xi \cdot \rho^{0,5} \cdot (g \cdot H_p)^{1,25}}{N_{\text{еф}}^{0,5}}, \text{ рад/с} \quad (5.3)$$

ξ – коефіцієнт швидкохідності

- діаметр робочого колеса

$$D = \frac{2W_n}{\omega}, \text{ м} \quad (5.4)$$

W_n – швидкість падаючого потоку

- продуктивність
- коефіцієнт корисної дії

Залежність між швидкістю падаючого потоку і напором:

$$W_{II} = \sqrt{2g \cdot H_p}, \text{ м/с} \quad (5.5)$$

Залежність між кутовою швидкістю обертання колеса турбіни і потоком, що набігає води:

$$\frac{\omega_2}{\omega_1} = \left(\frac{H_{p2}}{H_{p1}} \right)^{1,25} \quad (5.6)$$

Згідно з рівнення нерозривності потоку

$$V = F \cdot W \quad (5.7)$$

Площа поперечного перетіну:

- для одного сопла:

$$F = \frac{V}{W} \quad (5.8)$$

- для 1 сопла, якщо n-сопел:

$$F = \frac{V}{n \cdot W} \quad (5.9)$$

Діаметр сопла

$$D = \sqrt{\frac{4F}{\pi}} \quad (5.10)$$

На турбіну Пельтона падає потік води з напором $H_p=9 \text{ м}$ і витратою $V=0,01 \text{ м}^3/\text{с}$. ККД турбіни $\eta=0,9$, коефіцієнт швидкохідності колеса $\xi=0,1$. Визначити, нехтуючи тертям: швидкість потоку, ефективну потужність турбіни, радіус двох сопел, діаметр колеса, кутову швидкість обертання колеса.

Приклад

Дано: $H_p=8 \text{ м}$
 $V=0,07 \text{ м}^3/\text{с}$
 $\eta=0,9$
 $H=12 \text{ м}$
 $\xi=0,1$

Знайти $W_{II} = ?$
 $N_{\text{еф}} = ?$
 $R_c = ?$
 $D_k = ?$
 $\omega = ?$

Рішення

Швидкість потоку

$$W_{II} = \sqrt{2g \cdot H_p} = \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 8} = 12,53 \text{ м/с}$$

Ефективна потужність

$$N_{ef} = \eta_T \cdot N_T = 9,81 \cdot \rho \cdot V \cdot H_p = 9,81 \cdot 1000 \cdot 0,07 \cdot 8 = 5494 \text{ Вт} = 5,5 \text{ кВт}$$

Площа перетину одного сопла

$$F_c = \frac{V}{n \cdot W} = \frac{0,07}{2 \cdot 12,53} = 0,0028 \text{ м}^2$$

Діаметр сопла

$$D_c = \sqrt{\frac{4F}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,0028}{3,14}} = 0,0597 \approx 0,06 \text{ м}$$

Радіус сопла : $R_c = 0,03 \text{ м}$

Кутова швидкість обертання

$$\omega = \frac{\xi \cdot \rho^{0,5} \cdot (g \cdot H_p)^{1,25}}{N_{ef}^{0,5}} = \frac{0,1 \cdot 1000^{0,5} \cdot (9,81 \cdot 8)^{1,25}}{5494^{0,5}} = 9,96, \text{ рад/с}$$

Діаметр колеса:

$$D_k = \frac{2W_n}{\omega} = \frac{2 \cdot 12,53}{9,96} = 2,52 \text{ м}$$

Відповідь: швидкість потоку води $W_{II} = 12,53 \text{ м/с}$, ефективна потужність турбіни $N_{ef} = 5,5 \text{ кВт}$, радіус двох сопел $R_c = 0,03 \text{ м}$, діаметр колеса $D_k = 0,06 \text{ м}$, кутова швидкість обертання колеса $\omega = 9,96 \text{ рад/с}$.

Завдання 5.2 Розрахунок гідравлічного тарану

Гідравлічний таран (гідротаранний насос) — механічний пристрій для піднімання води вище свого рівня. Енергію для роботи насос отримує з потоку води, що перетікає під дією сили тяжіння з так званого живильного резервуара (наприклад, з загати на річці) по живильній трубі в деякий розташований нижче стік (наприклад, в ту ж річку нижче за течією), завдяки чому пристрій можна застосовувати в місцевості, де немає електропостачання або інших джерел енергії.

Пропускаючи через себе більшу частину води з невеликої висоти h (різниця висот між стоком і рівнем води в живильному резервуарі) насос піднімає меншу частину води на більшу висоту H (різниця висот між верхньою точкою відвідної труби і рівнем води в живильному резервуарі).

ККД тарану:

$$\eta = \frac{V_n \cdot H}{V_{ж} \cdot h} \quad (5.11)$$

H - висота нагнітання

h - висота падіння води або робочий напір

V_n - витрати у нагнітальній трубі

$V_{ж}$ - витрати у живильній трубі.

Визначити, яку частку води Δ (в % від витрати в живильній трубі) буде піднято на висоту H (гідравлічним тараном), якщо V_n - витрати у нагнітальній трубі гідротарану ($\text{м}^3/\text{год}$), $V_{ж}$ - витрати у живильній трубі. ККД тарану $\eta=0,5+0,015N_{\text{в}}$. Висота нагнітання $H=10+0,5N_{\text{в}}$ м. Висота падіння води або робочий напір $h=2+0,05N_{\text{в}}$ м.

Приклад

Дано: $\eta=0,6$
 $H=12$ м
 $h=2$ м.

Знайти $\Delta = ?$

Рішення

ККД тарану:

$$\eta = \frac{V_n \cdot H}{V_{ж} \cdot h}$$

За умовою задачі

$$\Delta \cdot V_{ж} = V_n$$

З розв'язання попередніх рівнянь отримаємо:

$$\eta = \frac{\Delta \cdot V_{ж} \cdot H}{V_{ж} \cdot h} = \frac{\Delta \cdot H}{h}$$

Звідки:

$$\Delta = \frac{\eta \cdot h}{H}$$

$$\Delta = 0,6 \cdot 2 / 12 = 0,1 = 10\%$$

Відповідь: на 10%

ПРАКТИЧНЕ ЗАВДАННЯ 6

ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ПРИЛИВНИХ ХВИЛЬ

Завдання 6.1 Визначення основних характеристик хвильової установки

Основні характеристики хвильової установки

Довжина хвилі

$$\lambda = \frac{2\pi g}{\omega^2} \quad (6.1)$$

λ – довжина хвилі

ω – кутова швидкість

$g=9,81\text{м/с}^2$ – прискорення вільного падіння

Період руху хвилі, сек

$$T = \frac{2\pi}{\omega} \quad (6.2)$$

Фазова швидкість, м/с

$$c = \frac{\omega \cdot \lambda}{2\pi} \quad (6.3)$$

Групова швидкість, м/с

$$u = \frac{c}{2} \quad (6.4)$$

Потужність хвилі на одиницю хвильового фронту, Вт/м

$$P = \frac{\rho \cdot g \cdot a^2 \cdot c}{4} \quad (6.5)$$

a- амплітуда хвилі

Для ефективної роботи приливної електричної станції необхідно визначити період, фазову швидкість, потужність хвилі на глибокій воді, якщо довжина хвилі $\lambda= 90+3N_0$ м, амплітуда $a=1+0,1N_0$ м, густина води $\rho = 1027 \text{ кг/м}^3$

Приклад

Дано: $\lambda= 100$ м
 $a = 1,5$ м
 $\rho = 1027 \text{ кг/м}^3$

Знайти $\omega = ?$
 $T = ?$
 $P = ?$

Рішення

Кутова швидкість

$$\omega = \sqrt{\frac{2\pi \cdot g}{\lambda}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 3,14 \cdot 9,81}{100}} = 0,8 \text{ с}^{-1}$$

Період руху хвилі

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2 \cdot 3,14}{0,8} = 8 \text{ с}$$

Фазова швидкість

$$c = \frac{\omega \cdot \lambda}{2\pi} = \frac{0,8 \cdot 100}{2 \cdot 3,14} = 13 \text{ м/с}$$

Групова швидкість

$$u = \frac{c}{2} = \frac{13}{2} = 6,5 \text{ м/с}$$

Потужність хвилі на одиницю хвильового фронту

$$P = \frac{\rho \cdot g \cdot a^2 \cdot c}{4} = \frac{1027 \cdot 9,81 \cdot 1,5^2 \cdot 13}{4} = 73672 \text{ Вт/м} = 73,7 \text{ кВт/м}$$

Відповідь: для ефективної роботи приливної електричної станції необхідні наступні параметри період $T = 8 \text{ с}$, фазову швидкість $\omega = 0,8 \text{ с}^{-1}$, потужність хвилі на глибокій воді $P = 73,7 \text{ кВт/м}$

Завдання 6.2 Визначення енергетичного потенціалу приливної енергії для ефективної роботи ПЕС

У науковій літературі існує кілька рівнянь, що дозволяють визначити енергетичний потенціал $E_{\text{пот}}$ (кВт • год) приливної енергії океанічного басейну, що має площу $F \text{ км}^2$, якщо відома середня величина приливної хвилі $R_{\text{ср}}$, м. Найбільше поширення отримала формула, розроблена вченим Л. Б. Бернштейном:

$$E_{\text{пот}} = 1,97 \cdot 10^6 \cdot R_{\text{ср}}^2 \cdot F \quad (6.6)$$

Необхідно оцінити приливний потенціал океанічного басейну $E_{\text{пот}}$ (кВт • год) приливної електростанції, за формулою Л. Б. Бернштейна якщо його площа $F = 500 + 100N_{\text{д}}$ км^2 , а середня величина припливу $R_{\text{ср}} = 6 + 0,6N_{\text{д}}$ м.

Приклад

Дано: $F = 1500 \text{ км}^2$
 $R_{\text{ср}} = 7 \text{ м}$
Знайти: $E_{\text{пот}} = ?$

Рішення

Приливний потенціал океанічного басейну:

$$E_{\text{пот}} = 1,97 \cdot 10^6 \cdot R_{\text{ср}}^2 \cdot F = 1,97 \cdot 10^6 \cdot 7^2 \cdot 100 = 144,8 \cdot 10^9 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Відповідь: приливний потенціал басейна $E_{\text{пот}} = 144,8 \cdot 10^9 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$

ПРАКТИЧНЕ ЗАВДАННЯ 7

РОЗРАХУНОК БІОГАЗОГЕНЕРАТОРНИХ УСТАНОВОК

Завдання 7.1 Визначення потужності та об'єму біогазогенератора (метантенка)

Одним з видів біопалива є відходи життєдіяльності тварин (гній), при переробці яких (зброджування) в біогазогенераторах можна отримувати біогаз, до складу якого (70% за обсягом) входить метан; теплота згоряння метану при нормальних фізичних умовах $Q_H^p = 28 \text{ МДж/м}^3$

Час повного зброджування субстрату, що складається з води, гною і ферментів, в залежності від температури змінюється від 8 до 30 діб. Щільність сухого матеріалу в субстраті становить $\rho_{\text{сух}} \approx 50 \text{ кг/м}^3$. Вихід біогазу від 1 кг сухого матеріалу в добу становить $v_g = 0,2 \div 0,4 \text{ м}^3/\text{кг}$.

Швидкість подачі сухого зброджуваного матеріалу в біогазогенератор (метантенок) W залежить від виду тварин і їх кількості на фермі.

Добовий об'єм рідкої маси, що надходить в біогазогенератор $V_{\text{сут}}$ ($\text{м}^3/\text{діб}$):

$$V_{\text{сут}} = m_0 / \rho_{\text{сух}} \quad (7.1)$$

m_0 - (кг/діб) подачу сухого зброджуваного матеріалу,
 $\rho_{\text{сух}}$ - щільність сухого матеріалу в субстраті

Об'єм біогазогенератора, необхідного для ферми V_6 (м^3):

$$V_6 = \tau \cdot V_{\text{сут}} \quad (7.2)$$

τ - тривалість бродіння, діб

На основі правила золотого перерізу площа метантенка (біогазогенератора)

$$F = 0,454 \cdot V_6 \quad (7.3)$$

Приймаючи конструкцію циліндричною, визначаємо діаметр

$$D = \sqrt{\frac{3}{4} \cdot F} \quad (7.4)$$

Висота установки

$$h = \frac{V_m}{F} \quad (7.5)$$

Добовий вихід біогазу V_g :

$$V_g = m_0 \cdot v_g \quad (7.6)$$

v_g - вихід біогазу з сухої маси, $\text{м}^3/\text{кг}$

Теплова потужність пристрою, що використовує біогаз (МДж/діб) или (Вт),

$$N = \eta \cdot Q_n^p \cdot V_z \cdot f_m \quad (7.7)$$

η - ККД горілчаного пристрою ($\approx 60\%$)

$Q_n^p = 28 \text{ МДж/м}^3$ - теплота згоряння метану при нормальних фізичних умовах

f_m - об'ємна частка метану в біогазі.

Визначити об'єм біогазогенератора V_6 і добовий вихід біогазу V_r в установці, що утилізує гній від $n=15+N_6$ корів, а також забезпечуємо нею теплову потужність N (Вт). Час циклу зброджування $\tau = 10+N_6$, діб при температурі $t=25^\circ \text{C}$; подача сухого зброджуваного матеріалу від однієї тварини йде зі швидкістю $W = 2 \text{ кг/добу}$; вихід біогазу з сухої маси $v_r = 0,22+0,007N_6 \text{ м}^3/\text{кг}$. Вміст метану в біогазі становить $f_m=72\%$. ККД паливкового пристрою $\eta=0,65$ Щільність сухого матеріалу, розподіленого в масі біогазогенератора, $\rho_{\text{сух}} \approx 50 \text{ кг/м}^3$. Теплота згоряння метану при нормальних фізичних умовах $Q_n^p = 28 \text{ МДж/м}^3$

Приклад

Дано: $n=18$ корів
 $\tau = 14$ сут
 $t = 25^\circ \text{C}$
 $W = 2 \text{ кг/сут}$
 $v_r = 0,24 \text{ м}^3/\text{кг}$
 $\eta=0,68$
 $f_m=70\%$
 $\rho_{\text{сух}} \approx 50 \text{ кг/м}^3$
 $Q_n^p = 28 \text{ МДж/м}^3$

Знайти $V_6 = ?$
 $V_r = ?$
 $N = ?$

Рішення

Подача сухого зброджуваного матеріалу від $n = 18$ тварин йде зі швидкістю:

$$m_0 = W \cdot n = 2 \cdot 18 = 36 \text{ кг/сут};$$

Добовий об'єм рідкої маси $V_{\text{сут}}$, що надходить в біогазогенератор:

$$V_{\text{сут}} = m_0 / \rho_{\text{сух}} = 36 / 50 = 0,72 \text{ м}^3/\text{сут}$$

Об'єм біогазогенератора, необхідного для ферми:

$$V_6 = \tau \cdot V_{\text{сут}} = 14 \cdot 0,72 = 10,08 \text{ м}^3$$

На основі правила золотого перерізу площа метантенка (біогазогенератора)

$$F = 0,454 \cdot V_6 = 0,454 \cdot 10,08 = 4,576 \text{ м}^2$$

Приймаючи конструкцію циліндричною, визначаємо діаметр

$$D = \sqrt{\frac{3}{4} \cdot F} = \sqrt{\frac{3}{4} \cdot 4,576} = 1,85 \text{ м}$$

Висота установки

$$h = \frac{V_6}{F} = \frac{10,08}{4,576} = 2,2 \text{ м}$$

Добовий вихід біогазу:

$$V_z = m_0 \cdot v_z = 36 \cdot 0,24 = 8,64 \text{ м}^3/\text{дiб}$$

Теплова потужність пристрою, що використовує біогаз:

$$N = \eta \cdot Q_n^p \cdot V_z \cdot f_m = 0,68 \cdot 28 \cdot 8,64 \cdot 0,70 = 115 \text{ МДж/дiб.}$$

Відповідь: об'єм біогазогенератора $V_6 = 10,08 \text{ м}^3$, добовий вихід біогазу $V_r = 8,64 \text{ м}^3/\text{дiб}$, теплова потужність пристрою, що використовує біогаз $N = 115 \text{ МДж/дiб}$

Завдання 7.2 Визначення продуктивності біогазової установки

Кількість екскрементів на добу:

$$V_{ек} = n_1 \cdot b_1 + n_2 \cdot b_2 \quad (7.8)$$

$V_{ек}$ – кількість екскрементів, кг/дiб

n_1 – кількість великої рогатої худоби

$b_1 = 55 \text{ кг, дiб}$ - вихід екскрементів від великої рогатої худоби

n_2 – кількість свіней

$b_2 = 15 \text{ кг/дiб}$ - вихід екскрементів від свіней

Продуктивність біогазової установки

$$V_6 = V_{ек} \cdot a \cdot v \cdot k \quad (7.9)$$

V_6 – продуктивність біогазової установки, $\text{м}^3/\text{дiб}$

$k = 0,3-0,4$ - коефіцієнт бродіння

$a = 0,0363-0,04 \text{ кг}$ - кількість органічної маси з 1 кг екскрементів

v – питома величина виходу біогазу з органічної маси, залежить від температури ферментації і тривалості процесу, $\text{м}^3/\text{кг}$, значення представлено у таблиці 7.1

Таблиця 7.1 – Визначення питомої величини виходу біогазу з органічної маси

$t, ^\circ\text{C}$	$\tau, \text{дiб}$	$v, \text{м}^3/\text{кг}$	$t, ^\circ\text{C}$	$\tau, \text{дiб}$	$v, \text{м}^3/\text{кг}$	$t, ^\circ\text{C}$	$\tau, \text{дiб}$	$v, \text{м}^3/\text{кг}$
	5	0,063		5	0,118		5	0,179
32	10	0,161	44	10	0,269	50	10	0,285
	20	0,329		20	0,428		20	0,357

В господарств і є $n_1 = 10 + 0,5N_2$ тварин великої рогатої худоби (ВРХ) та $n_2 = 15 + 0,3N_2$ свиней. Визначити продуктивність біогазової установи V_6 , якщо тривалість бродіння τ , діб (приймаємо для четного варіанта $\tau = 5$ діб, для нечетного $\tau = 10$ діб), температура ферментації t , °C (приймаємо для четного варіанта $t = 32$ °C, для нечетного $t = 44$ °C), коефіцієнт бродіння $k = 0,4$, кількість органічної маси з 1 кг екскріментов $a = 0,0363$ кг.

Приклад

Дано: $n_1 = 5$ шт
 $n_2 = 10$ шт
 $\tau = 5$ діб
 $t = 50$ °C
 $k = 0,4$
 $a = 0,3$ кг.

Знайти $V_6 = ?$

Рішення

Кількість екскріментов на добу:

$$V_{ек} = n_1 \cdot b_1 + n_2 \cdot b_2 = 5 \cdot 55 + 10 \cdot 15 = 425 \text{ кг/діб}$$

Продуктивність біогазової установки

$$V_6 = V_{ек} \cdot a \cdot v \cdot k = 425 \cdot 0,04 \cdot 0,285 \cdot 0,3 = 1,45 \text{ м}^3/\text{діб}$$

$v = 0,285 \text{ м}^3/\text{кг}$ - питома величина виходу біогазу з органічної маси, залежить від температури ферментації і тривалості процесу

Відповідь: продуктивність біогазової установки $V_6 = 1,45 \text{ м}^3/\text{діб}$,

ЛІТЕРАТУРА

1. ДСТУ 2275 – 93 Енергоощадність. Нетрадиційні та поновлювані джерела енергії. Терміни та визначення. –К.:Держстандарт України, 1994. – 52с
2. Нетрадиційна енергетика: основи теорії та задачі: навч. Посібник / Д.Л. Дудюк, С.С. Мазепа, Я.М. Гнатишин. – Л.: Магнолія, 2008. – 187с
3. Збірник задач та методичні вказівки до розрахунково-графічних та контрольних робіт з курсу „Нетрадиційні джерела енергії” для студентів спеціальності «Нетрадиційні джерела енергії» /Укл. Беспалько С.А., Йовченко А.В. – Черкаси: ЧДТУ, 2009. – 30 с
4. Кудря С.О., Головка В.М. Основи конструювання енергоустановок з відновлюваними джерелами енергії – Київ: , 2009. – 201с
5. Селин В.В. Методическое пособие к выполнению контрольного задания по дисциплине "Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии" для студентов дневной и заочной форм обучения специальности 140101.65 - Тепловые электрические станции. Калининград, Издательство КГТУ, 2005-21 с
6. Основы энергоресурсосбережения : практикум / А. А. Черенцова. – Хабаровск : Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2016. – 127 с.
7. Возобновляемые источники энергии : учеб.-метод. Пособие по выполнению курсовых работ / сост. А. Б. Сухоцкий. – Минск : БГТУ, 2018. – 74 с.
8. Твайделл Дж., Уэйр А. Возобновляемые источники энергии.- М.: Энергоатомиздат, 1990. – 392 с.
9. Бекман У., Клейн С., Даффи Дж. Расчет систем солнечного теплоснабжения. –М.: Энергоиздат, 1982. – 80с.
10. Берштейн Л.Б., Силаков В.Н.,Эрлихман Б.Л. и др. Приливные электростанции. –М.: Энергоиздат, 1986. – 90с.