

УДК 621.316.1

## ОЦІНКА ЕНЕРГЕТИЧНИХ, ТЕМПЕРАТУРНИХ ТА ЕКОНОМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГІБРИДНИХ КОЛЕКТОРІВ

М. Ю. Шабовта, В. О. Разінков

Національний університет «Одеська політехніка»

**Анотація.** В даній роботі було проведено дослідження ефективності використання гібридних сонячних водяних колекторів. За результатами розрахунку температури нагріву сонячних панелей було встановлено, що зменшення генерації електричної енергії при нагріванні складає близько 14%. При використанні гібридних колекторів можливо досягти збільшення генерації електричної енергії та додатково отримати теплову. Вартість теплової енергії при умові використання її для потреб ГВП є значно меншою, ніж покупати її від постачальників або отримувати від традиційних джерел, однак через значну первинну вартість гібридних колекторів їх конкурентоспроможність на даний час є низькою.

**Ключові слова:** електрична енергія, фотоелектричні сонячні панелі, температурний коефіцієнт, гібридний колектор, тепла енергія, нагрівання панелей, площа інсоляції.

### Вступ

Фотоелектричні теплові гібридні сонячні колектори (гібридні PV/T) – це системи, які перетворюють сонячну енергію на теплову та електричну енергію. Ці системи об'єднують фотогальванічний елемент із сонячним тепловим колектором, тобто. перетворюють електромагнітне випромінювання в електроенергію і нагрівають проточну рідину від поглиненої енергії. Модуль PV перетворює 6-20% падаючої сонячної радіації в електрику в залежності від його типу та кліматичних умов. Більшість падаючого сонячного випромінювання перетворюється на тепло, що збільшує температуру фотоелектричного модуля і знижує його ефективність.

### Мета дослідження

Визначення теплових та енергетичних характеристик гібридних колекторів для м. Одеси та на їх основі визначення економічних показників їх застосування.

### 1. Матеріали та результати дослідження

Монокристалічні сонячні елементи мають в середньому ККД на рівні 22 %. Такі модулі виробляються з ультра чистих кремнієвих стрижнів, які нарізають тонкими пластинами.

Полікристалічні сонячні елементи мають в середньому ККД на рівні 17 %. Технологічно кремній з якого виробляється модуль відливається в блоки. В процесі застигання утворюються кристалічні структури різних розмірів, на межах яких виникають дефекти, котрі зменшують ККД [1].

Температура при якій працюють сонячні елементи є одним із найважливіших факторів, що визначає їх ККД. Оскільки ККД таких елементів обмежено, то це означає, що вони не здатні перетворити сто відсотків енергії, яка на них падає. Та частина, яку не вдається перетворити в електричну енергію перетворюється в тепло. Зі збільшенням температури, потік електронів в середині елементів наростає, відповідно до цього і збільшується струм викликаючи падіння напруги. Падіння напруги в цьому випадку більше ніж збільшення сили струму, що призводить відповідно до зменшення генерованої потужності [2].

Кожен завод, що виготовляє сонячні панелі вказує температурні характеристики, де зазначено відсоток зменшення генерованої потужності на кожен градус підвищення температури вище нормованих. Для сонячних фотоелектричних панелей вказують характеристики при умовах, що світловий потік становить 1000 Вт/м<sup>2</sup>, а температура оточуючого середовища 25 С.

Вплив збільшення температури на показники потужності сонячного елемента можна оцінити з виразу

$$P = P_0 (1 - \beta \Delta \tau), \text{ Вт}, \quad (1)$$

де  $P_0$  – потужність сонячного модуля при 25 °С, Вт;

$\beta$  – температурний коефіцієнт зміни потужності, °С<sup>-1</sup>;

$\Delta \tau$  – зміна робочої температури сонячного модуля відносно 25 °С.

Робоча температура сонячного модуля буде являти собою результат рівноваги між теплом, що модуль поглинув від сонця, теплом що виробляється самим модулем за рахунок власного внутрішнього опору та теплом, що відводиться від модуля до оточуючого середовища.

Робочу температуру модуля в загальному випадку можна розрахувати з рівняння теплового балансу.

$$Q_h = P + Q_c + Q_r, \text{ Вт}, \quad (2)$$

де  $Q_h$  – енергія, що надійшла від сонця, Вт;  
 $P$  – згенерована електрична потужність, Вт;  
 $Q_c$  – втрати тепла від конвекції, Вт;  
 $Q_r$  – втрати тепла випромінюванням, Вт.

Енергія, що передається панелі сонячними променями виражається формулою

$$Q_h = (1 - a) Q_t S, \text{ Вт}, \quad (3)$$

де  $Q_t$  – нормальний до панелі потік сонячного випромінювання Вт/м<sup>2</sup>;

$S$  – площа фоточутливої поверхні сонячної панелі, м<sup>2</sup>;

$a$  – коефіцієнт відбиття панелі,  $a = 0,05$  [5].

Втрати тепла від конвекції можна визначити з рівняння

$$Q_c = h_c (\tau - \tau_{air}) S, \text{ Вт}, \quad (4)$$

де  $h_c$  – коефіцієнт передачі тепла конвекцією, Вт/(м<sup>2</sup> К);

$\tau$  – температура сонячного модуля, К;

$\tau_{air}$  – температура повітря, К.

Значення коефіцієнту  $h_c$  змінюється в залежності від температури повітря, сили вітру, температури та розмірів панелі.

Втрати тепла випромінюванням можна визначити за рівнянням

$$Q_r = \varepsilon \sigma (\tau^4 - \tau_{air}^4) S, \text{ Вт}, \quad (5)$$

де  $\varepsilon$  – константа випромінювання панелі, приймається  $\varepsilon=0,7$ ;

$\sigma=5,6703 \cdot 10^{-8}$  – константа Стефана-Больцмана Вт/(м<sup>2</sup> К<sup>4</sup>).

У довідниковій літературі [4] приводяться значення прямої на нормальну до проміння поверхню ( $S$ ), прямої на горизонтальну поверхню ( $S'$ ) та дифузної на горизонтальну поверхню ( $D$ ) сонячної радіації з урахуванням захмареного неба. Для визначення величини сонячної радіації

на площину нормальну до поверхні панелі ( $Q_t$ ) скористуємося наступними виразами [5, 6].

$$B = 360^\circ \frac{n-1}{365}, \quad (6)$$

$$ET = 2,2918(0,0075 + 0,1868 \cos(B) - 3,2077 \sin(B) - 1,4615 \cos(2B) - 4,089 \sin(2B)), \quad (7)$$

$$AST = LST + \frac{ET}{60} + \frac{(LON - LSM)}{15}, \quad (8)$$

$$LSM = 15TZ, \quad (9)$$

$$h = 15(AST - 12) \quad (10)$$

$$\delta = 23,45^\circ \sin\left(360^\circ \frac{n+284}{365}\right), \quad (11)$$

$$\sin \beta = \cos L \cos \delta \cos h + \sin L \sin \delta, \quad (12)$$

$$\theta_z = 90 - \beta, \quad (13)$$

$$\sin \varphi = \frac{\sinh \cos \delta}{\cos \beta}, \quad (14)$$

$$\gamma = \varphi - \psi, \quad (15)$$

$$\cos \theta = \cos \beta \cos \gamma \sin \alpha + \cos \beta \cos \alpha, \quad (16)$$

$$S_t = S \cos \theta, \quad (17)$$

$$D_t = D \cos^2 \frac{\alpha}{2} \left(1 + F \sin^3 \frac{\alpha}{2}\right) \cdot$$

$$\cdot \left(1 + \cos^2 \theta \sin^3 \theta_z\right), \quad (18)$$

$$Q = S' + D, \quad (19)$$

$$F = 1 - \left(\frac{D}{Q}\right)^2, \quad (20)$$

$$Q_t = S_t + D_t, \quad (21)$$

де  $n$  – порядковий номер дня року, що відрховується з 1 січня;

$ET$  – рівняння часу, хвил;

$LON$  – довгота спостерігача, °;

$LSM$  – довгота стандартного часового меридіану, °;

$TZ$  – часова зона, год;

$LST$  – місцевий стандартний час, год; якщо задається літній час (DST), тоді  $LST=DST-1$

$AST$  – очевидний сонячний час, год;

$\theta_z$  – кут сонячного зеніту;

$\beta$  – кут висоти сонця;

$h$  – часовий кут;

$L$  – довгота місця розташування панелі;

$\delta$  – сонячний нахил;

$\varphi$  – кут сонячного азимута;

$\alpha$  – кут між поверхнею панелі та горизонтальною площиною;

$\theta$  – кут падіння сонячних променів відносно нормалі до поверхні панелі;

$S', D_t, R_t$  – пряма, дифузна та відбита радіація відповідно;

За наведеними виразами на рис. 1 показана зміна інтенсивності сонячної радіації впродовж середньомісячної червневої доби для міста Одеси на панелі що знаходиться під нахилом  $30^\circ$  до горизонту та орієнтована на південь.

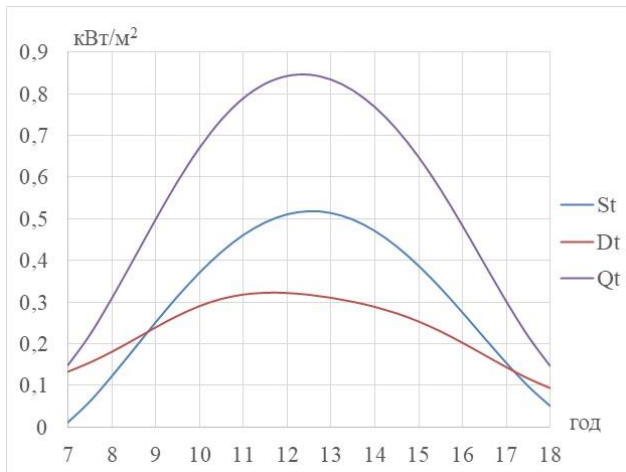


Рис. 1. Зміна інтенсивності сонячної радіації протягом доби

Якщо підставити рівняння (4), (5), (6) у рівняння (3) та скоротити, то отримаємо вираз з якого можливо визначити температуру поверхні панелі

$$(1 - a)Q_t = P_0 [1 - \beta(\tau - 298)] + h_c(\tau - \tau_{air}) + \varepsilon\sigma(\tau^4 - \tau_{air}^4), \text{Вт} \quad (22)$$

Вирішуючи рівняння з урахуванням зміни інтенсивності падаючої радіації на поверхню протягом доби та температури зовнішнього повітря у безвітряну погоду отримуємо графік зміни робочих температур модуля (рис. 2).

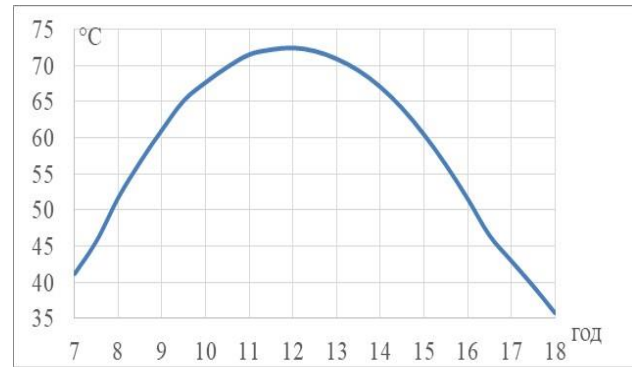


Рис. 2. Зміна температури поверхні сонячної панелі

Як можна бачити з рисунка навіть при усереднених значеннях температури повітря нагрів панелі сягає майже  $73^\circ\text{C}$ , що негативно впливає на її роботу. По-перше, зменшується ККД панелі, по-друге, зменшується термін її служби. Для графіку наведеного на рис. 2 зменшення генерації електроенергії за добу, за рахунок зменшення ККД, відносно його номінального значення при температурі  $25^\circ\text{C}$ , складає 14% (рис. 3).

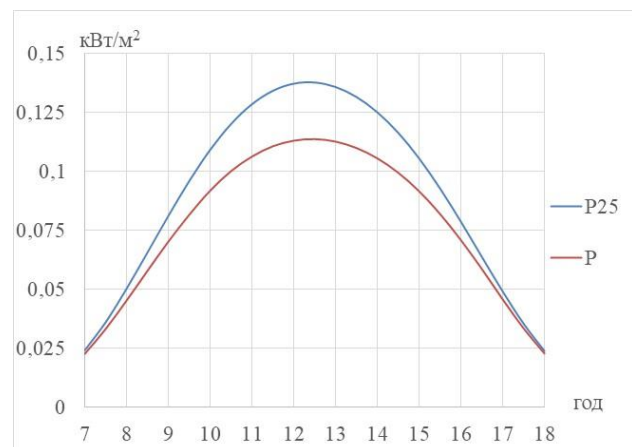


Рис. 3. Зміна електричної потужності панелі протягом доби з охолодженням її до температури  $25^\circ\text{C}$  та без охолодження

Застосування гібридних колекторів дозволяє зменшити температуру панелі за рахунок пропускання через теплообмінник охолоджуючої рідини. Стандартний модуль із напівпровідниковими елементами перетворює сонячну енергію на електрику за рахунок фотоелектричного ефекту. Частина енергії, що залишилася, втрачається, частково витрачаючись на нагрівання самого елемента, що в свою чергу тягне за собою підвищення електричного опору і зниження продуктивності системи.

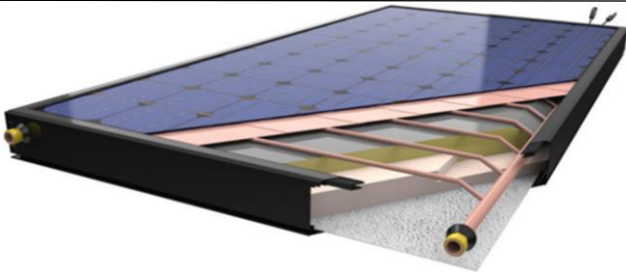


Рис. 4. Конструкція гібридного сонячного колектора *Atmosfera*

На відміну від стандартного модуля, у гібридному сонячному колекторі (*photovoltaic thermal, PV/T*) фотоелектричні елементи (*photovoltaic, PV*) охолоджуються активною системою відведення теплоти через мідні трубки (рідинний сонячний колектор) [7]. При відповідній конфігурації інженерних систем будівлі ту частину енергії, яка раніше просто губилася, при цьому знижуючи продуктивність основної системи, у випадку з гібридним сонячним колектором можна з користю утилізувати.

Рівняння балансу енергії з урахуванням охолодження панелі до температури  $\tau_{cool}$  буде мати наступний вигляд

$$Q_{heat} = (1 - a)Q_t - P_0 [1 - \beta(\tau_{cool} - 298)] - h_c(\tau_{cool} - \tau_{air}) - \varepsilon\sigma(\tau_{cool}^4 - \tau_{air}^4), \text{Вт} \quad (23)$$

де  $Q_{heat}$  – теплова потужність колектору, Вт.

За виразом (23), були розраховані залежності річних показників генерації енергії в залежності від температури поверхні гібридного колектору, яку має підтримувати його система охолодження рис. 5 – рис. 6, а також відсоток збільшення генерації електричної енергії у порівнянні з колектором що не охолоджувався рис. 7.

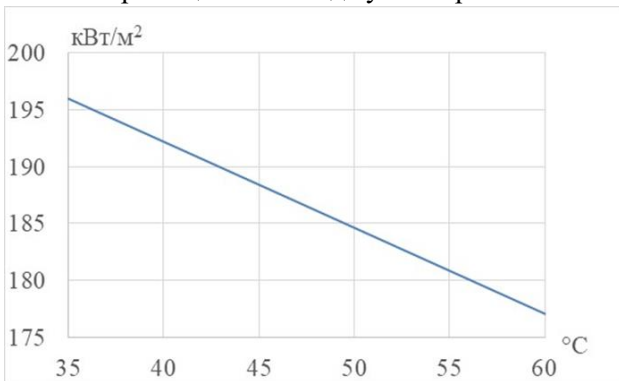


Рис. 5. Зміна електричної потужності панелі протягом доби з охолодженням її до температури 25°C та без охолодження

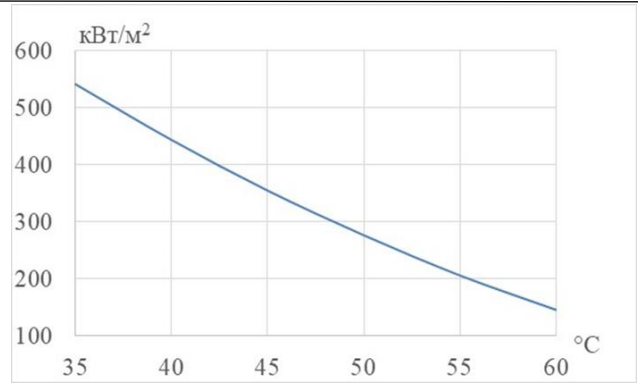


Рис. 6. Залежність середньорічної генерації теплової енергії від температури поверхні панелі.

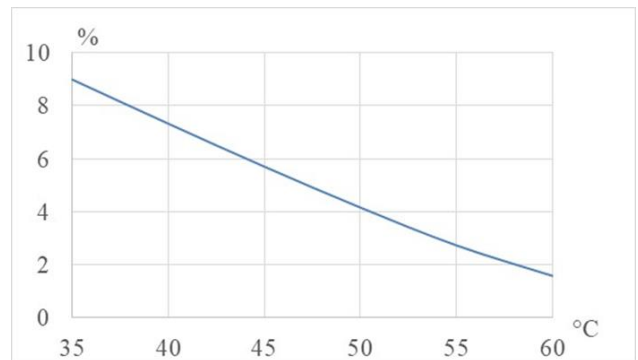


Рис. 7. Відсоток збільшення генерації електричної енергії у порівнянні з колектором що не охолоджувався

Санітарними нормами встановлено, що подача гарячої води від централізованих систем повинна бути не менше ніж 60 °C. Оскільки в літній період комфортна температура води нижче ніж у зимовий, а також з урахуванням зменшення втрат в системі розподілу гарячого водопостачання (ГВ), дали приймається температура теплоносія для ГВ 55 °C.

За результатами даних кількості теплової енергії, що може бути отримана з 1 м<sup>2</sup> поверхні з урахуванням зміни інтенсивності сонячного випромінювання протягом року, а також з урахуванням усереднених значень швидкості вітру та температури навколишнього середовища можна отримати дані про прогнозовані об'єми ГВ.

Нормами регламентуються лише граничні показники температури мережевої води 3-20 °C. Оскільки для ГВ вода береться з мережі у відносно теплий період, у розрахунках температура мережевої води приймається найбільшою з зазначеного діапазону – 20 °C.

Якщо вважати що теплоносій буде проходити через колектори послідовно, температура теплоносія у кожному колекторі буде змінюватися у діапазоні 20-55 °C. Також приймається різниця

температури між поверхнею панелі та теплоносієм за рахунок втрати у теплообміннику  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Завдяки чому температура поверхні панелі буде коливатися у діапазоні  $25\text{--}60\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Для оцінки теплової енергії, що можна отримати при зазначеній схемі приєднання колекторів, визначимо рівняння дотичної до кривої що зображена на рисунку 7 при температурі  $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

$$E = 860 - 12\tau \quad (24)$$

де  $E$  – тепла енергія, кВт·год;

$\tau$  – температура поверхні панелі,  $^{\circ}\text{C}$ .

Визначимо середнє значення теплової енергії для середньої температури з зазначеного діапазону  $25\text{--}60\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

$$E = 860 - 12 \cdot 42,5 = 350 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

Таким чином за рік з  $1\text{ м}^2$  площі колектору можна отримати гарячу воду розігріту до температури  $55\text{ }^{\circ}\text{C}$  об'ємом

$$V = \frac{E}{c\Delta t\rho} = \frac{350}{1,1622 \cdot 10^{-3} (55 - 20) \cdot 997} = 8,63 \text{ м}^3. \quad (25)$$

де  $c$  – теплоємність води, кВт·год/(К·кг);

$\Delta t$  – різниця температури між початковим та кінцевими температурами теплоносія,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$\rho$  – щільність теплоносія, кг/м<sup>3</sup>.

Оцінка ефективності застосування гібридних колекторів проводиться за допомогою дохідного методу. При використанні даного методу прогнозуються і визначаються майбутні потенційні доходи за методом дисконтованого грошового потоку.

Для прогнозування грошового потоку слід визначити кількість кінцевої продукції, яка може бути спожита та вирахувати вартість при умові споживання такого самого об'єму кінцевої продукції при умові, що вона буде закуповуватись у відповідних постачальників.

Місто Одеса відмовилась від централізованого гарячого водопостачання через низький попит на дану послугу та більшу ефективність індивідуальних водонагрівачів, проте в інших великих містах України тарифи коливаються в таких межах [8]-[12]:

КП «Київтеплоенерго» –  $97,89\text{ грн/м}^3$ , м. Київ;

- ЛКП «Залізничтеплоенерго» –  $102,77\text{ грн/м}^3$ , м. Львів;

- КП «Харківські теплові мережі» –  $93,22\text{ грн/м}^3$ , м. Харків;

- Концерн «Міські теплові мережі» –  $87,76\text{ грн/м}^3$ , м. Запоріжжя;

- КП «Дніпропетровські міські теплові мережі» –  $97,39\text{ грн/м}^3$ , м. Дніпро.

Зважаючи на дані тарифи середньовиважений тариф буде складати приблизно  $95,8\text{ грн/м}^3$ .

Якщо використовувати двохконтурний індивідуальний газовий котел, то потреба на нагрівання  $1\text{ м}^3$  води з урахуванням ККД котла та середньої теплотворності природного газу, становить

$$B = \frac{cV(t_r - t_x)}{q_{\text{газу}}\eta_k}, \text{ м}^3, \quad (26)$$

де  $c$  – питома теплоємність теплоносія (води  $4,19\text{ кДж/(кг}\cdot\text{К)}$ );

$m$  – маса теплоносія, кг;

$t_r$  – температура нагрітого теплоносія;

$t_x$  – температура холодної води, що подається в котел для нагрівання;

$q_{\text{газу}}$  – теплотворність природного газу ( $33,5\text{ МДж/м}^3$ ) [14];

$\eta_k$  – ККД водогрійного котла, приймається  $76\%$  [19].

$$B_{\text{газу}} = \frac{4,19 \cdot 1000 \cdot (55 - 20)}{33,5 \cdot 10^3 \cdot 0,76} = 5,76 \text{ м}^3.$$

За тарифом для побутових споживачів від ТОВ «ГК Нафтогаз України», який встановлений на рівні  $37,5\text{ грн}$  за  $\text{м}^3$ , вартість такого джерела гарячого водопостачання буде складати  $216\text{ грн/м}^3$  гарячої води.

При використанні електричних водонагрівачів, кількість електричної енергії необхідної для цього також можна розрахувати за формулою (20), при умові, що теплотворність електроенергії становить  $3,62\text{ МДж/(кВт}\cdot\text{год)}$ , а ККД електричних водонагрівачів сучасних зразків становить на рівні  $95\%$ . Тоді для нагрівання  $1\text{ м}^3$  води необхідно буде використати

$$B_{\text{ЕЕ}} = \frac{4,19 \cdot 10^3 \cdot (55 - 20)}{3,62 \cdot 10^3 \cdot 0,95} = 42,64 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

В перерахунку за тарифом 3,7 грн/(кВт·год) складатиме 157,77 грн/м<sup>3</sup> гарячої води.

Встановлюючи гібридні сонячні колектори вартість гарячої води буде дорівнювати нулю, однак на цю кількість гарячої води буде покладатися завдання, щодо окупності самого колектора. При врахуванні, що термін експлуатації гібридного колектору [7] становить 25 років, то кількість нагрітої води протягом всього терміну експлуатації становитиме

$$V_{\Sigma} = 1,4 \cdot 8,63 \cdot 25 = 302 \text{ м}^3,$$

Отже питома вартість 1 м<sup>3</sup> гарячої води, за умови вартості колектору 620 євро та вирахуванням вартості аналогічного за електричними характеристиками фотоелектричного модуля, становитиме

$$C_{\text{пит}} = \frac{C_{\text{г.к}} - C_{\text{ф.п}}}{V_{\Sigma}} = \frac{19778 - 3467,5}{302} = 54 \text{ грн/м}^3,$$

де  $C_{\text{г.к}}$  – вартість гібридного колектору, грн;

$C_{\text{ф.п}}$  – вартість фотоелектричної панелі, грн [18].

Таким чином значення питомої вартості 1 м<sup>3</sup> води, нагрітої до температури 55 °С, значно менше ніж будь-який традиційний варіант.

Однак для економічної оцінки ефективності впровадження гібридних колекторів необхідно розрахувати сумарні фінансові потоки отримані від реалізації енергії. Для цього необхідно врахувати електричну та теплову енергію.

Оскільки припускається, що електрична енергія буде споживатись безпосередньо самим ЕУ будівлі або споруди не побутового призначення то її вартість становитиме 3,7 грн/кВт·год.

Вартість теплової енергії в місті Одеса регламентується актами департаменту економічного розвитку Одеської міської ради, щодо встановлених тарифів на виробництво теплової енергії, яка виробляється на установках з використанням альтернативних джерел енергії, і визначає вартість 1 Гкал теплової енергії в межах 1257,88-1268,08 грн/Гкал [15]. В перерахунку цей тариф в середньому становить 44,2 грн/м<sup>3</sup>.

Через відсутність у місті мереж централізованого гарячого водопостачання, доступ до такої теплової енергії є обмеженим, тому буде враховуватись, що колектор слугує альтернативі електричного водонагрівача і вартість 1 кВт·год теплової енергії буде дорівнювати вартості електричної енергії. При цьому враховується, що елект-

ричний водонагрівач або вже наявний на об'єкті, або буде встановлений для забезпечення гарячою водою об'єкта поза літнім періодом.

При розрахунку економічної ефективності гібридного колектору до витратної частини також відносяться вартість 1 м<sup>3</sup> холодної води, яка за даними філії «Інфокс водоканал» [18] для не побутових споживачів з урахуванням водовідведення становить 35,16 грн/м<sup>3</sup> та частина вартості бака акумулятора [19], яка вирахована з максимального добового об'єму нагрітого теплоносія.

Таким чином з урахування вище наведених факторів та об'ємів генерації з 1 м<sup>2</sup> площі гібридного колектора, фінансові потоки при ставці дисконтування згідно даних НБУ 9 % та базового індексу споживчих цін, що приймається 7,9 % за показниками 2021 року, будуть мати наступну динаміку

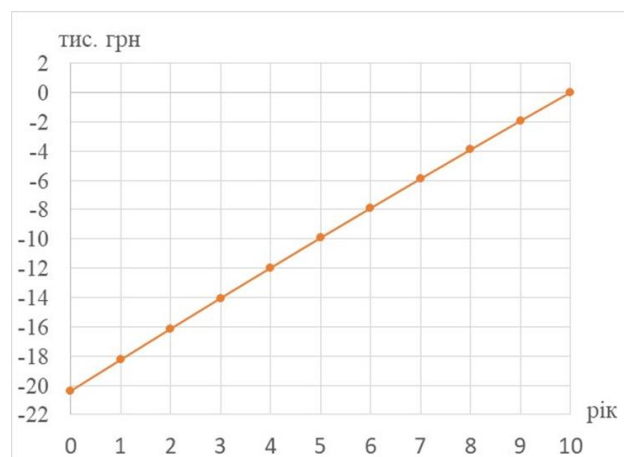


Рис. 8. Фінансові потоки гібридних колекторів

За результатами розрахунків дисконтований термін окупності склав 10 років, що є не дуже привабливим показником для інвесторів. Для зменшення терміну окупності до більш прийнятних 5 років для тих самих умов вартість гібридного колектору має бути близько 10 тис. грн., тобто у двічі дешевша за його сьогоденну ринкову ціну

### Висновок

Зважаючи на значні перспективи розвитку використання гібридних сонячних колекторів, вартість енергоресурсів від них не може конкурувати з вартістю енергії отриманих за допомогою традиційних методів на достатньому рівні, саме тому їх конструкція або цінова політика виробника потребує змін, які призведуть до сут-

тевого зменшення початкової вартості або значно покращать їх технічні характеристики.

Також треба зазначити, що визначення терміну окупності гібридного колектору досить складна наукова-практична задача. Нажаль на сьогодні у вільному доступі поки не існує прикладних програм для автоматизації цього процесу, тому робота у цьому напрямку є актуальною.

### Список використаної літератури

1. Афанасьев В. П., Теруков Е. И., Шерченков А. А. Тонкопленочные солнечные элементы на основе кремния. [Текст] – Издательство СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2011. 168 с.

2. Datasheet Risen 480-500M [Електронний ресурс]: Висока ефективність монокристалічних PERC модулів/Risen solar technology// Електронний текстовий каталог (1 файл) – Режим доступу <https://soncedim.com.ua/uploads/Datasheet-Risen-480-500M.pdf>.

3. Удельная теплоемкость воды H2O [Електронний ресурс]: Таблиці значень питомих теплоемкостей води та водяної пари/Thermalinfo.ru //Електронна стаття – Режим доступу <http://thermalinfo.ru/svoystva-zhidkostej/voda-i-rastvory/udel'naya-teploemkost-vody>.

4. Справочник по климату СССР Украинская ССР. Солнечная радиация, радиационный баланс и солнечное сияние/ за ред. Гришко В. И., Мисюра Л. И. – Л.: Гидрометиздат, 1966 – 124 с.

5. Шакиров В. А. Методика оценки прихода суммарной солнечной радиации на наклонные поверхности с использованием многолетних архивов метеорологических данных [Текст] – Журнал «Системы. Методы. Технологии». – 2017. Вип. №4 (36). – 115–121 с.

6. Б.И. Басок, Б.В. Давыденко, В.Г. Новиков, Р.Я. Сороковой /Моделирование солнечного излучения для использования в возобновляемой энергетике и в строительной теплофизике // Промислова теплотехніка. – 2018. – Т. 40, № 1. – С. 44–50.

7. Гібридні сонячні колектори VOLTER [Електронний ресурс]: Каталог-Прайс на гібридні колектори Volther Hybrid Collectors PV-T/Atmosfera технологии природы// Електронний текстовий каталог (2 файли) – Режим доступу <https://www.atmosfera.ua/uk/produkcija-3/gibridni-sonyachni-kolektori-volther/>

8. Тарифи на гарячу воду в Києві 2022 [Електронний ресурс]: Комунальні тарифи/Мінфін //

Електрона стаття – Режим доступу <https://index.minfin.com.ua/ua/tariff/kiev/hotwater/>

9. Тарифи на гарячу воду в м. Львів [Електронний ресурс]: Комунальні тарифи/Bankchart UA про твої фінанси// Електрона стаття – Режим доступу: <https://bankchart.com.ua/spravochniki/indikator-y-rynka/tarify-na-goryachu-vodu/11>.

10. У Харкові залишили старий тариф на тепло і воду:розпорядження [Електронний ресурс]: Комунальні тарифи/KHARKIVTODAY// Електрона стаття – Режим доступу: <https://2day.kh.ua/ua/kharkov/u-kharkovi-zalyshyly-staryy-taryf-na-teplo-i-vodu-rozporядzhennya>.

11. Тарифи КП «Водоканал» на централізоване водопостачання та водовідведення [Електронний ресурс]: Комунальні тарифи/Запорізька міська рада Офіційний сайт//Веб-сайт – Режим доступу: <https://zp.gov.ua/uk/page/perelik-tarifiv>.

12.Тарифи на гарячу воду в м. Дніпро [Електронний ресурс]: Комунальні тарифи/Bankchart UA про твої фінанси// Веб-сайт – Режим доступу: <https://bankchart.com.ua/spravochniki/indikator-y-rynka/tarify-na-goryachu-vodu/2>.

13.Низька температура води. Що робити? [Електронний ресурс]: Будинок та комунальні послуги. Водопостачання/ Офіційний портал Києва//Веб-сайт – Режим доступу: <https://kyivcity.gov.ua/budynok-ta-komunalni-posluhy/vodopostachannia/nyzka-temperatura-vody-shcho-robity/>

14. Сравнительная таблица теплотворности некоторых видов топлив [Електронний ресурс]: Довідникова інформація/Международна інвестиційна група «Альфа Інвест»// Веб-сайт– Режим доступу: <https://a-invest.com.ua/aktualno/tabliitsa-teplotvornosti.html>.

15.Тарифы на тепловую энергию с использованием альтернативных источников [Електронний ресурс]:Комунальні тарифи/Офіційний сайт міста Одеси//Веб-сайт – Режим доступу: <https://omr.gov.ua/ru/citizens/tariffs/tarifi-na-teplovyuyu-energiyu-s-ispolzovaniem-alternativnih/>.

16.Солнечная панель (270 Вт) [Електронний ресурс]: Сонячні електростанції/ VOLTA// Веб-сайт– Режим доступу: <https://bit.ly/3g7OfFh>.

17. ДСТУ Б А.2.2-12:2015 енергетична ефективність будівель. Метод розрахунку енергоспоживання при опаленні, охолодженні, вентиляції, освітленні та гарячому водопостачанні.: Вид-во Державне підприємство "Укрархбудінформ", 2015, –145 с.

18. Актуальні тарифи на водопостачання з 01.01.2022 [Електронний ресурс]: Комунальні тарифи/INfox//Веб-сайт – Режим доступу: <https://infovod.com.ua/uk/info/storinka-abonentu/aktualni-tarifi-z/>

19. Теплоаккумулятор Теплов 1000 л [Електронний ресурс]: Каталог товарів теплових аккумуляторів/ Prom.ua// Веб-сайт – Режим доступу: <https://bit.ly/3BwX81A>.

### References

1. Afanasiev V. P., Terykov E. I., Sherchenko A. A. (2011) Silicon based thin film solar cells [Tonkoplenochnie solnechnie elementi ns osnove kremniya] SPBSETU, LETI Publishing house p.168.

2. Datasheet Risen 480-500M, available at: <https://soncedim.com.ua/uploads/Datasheet-Risen-480-500M.pdf>.

3. Specific heat capacity of water H<sub>2</sub>O, available at: <http://thermalinfo.ru/svoystva-zhidkostej/voda-i-rastvory/udel'naya-teploemkost-vody>.

4. Reference book on the climate of the USSR Ukrainian SSR. (1966) Solar radiation, radiation balance and sunshine [Spravochnik po klimaty SSSR. Ukrainskaya SSR. Solnechnaya radiatsiya, radiatsionniy balans I solnechnoe siyanie] Hidrometizdat Publishing house p.124

5. Shakirov V. A. (2017) Methodology for estimating the arrival of total solar radiation on inclined surfaces using long-term archives of meteorological data [Metodica ocenki Prihoda symarnoy solnechnoi radiatsii na naklonie poverhnosti s ispolzovaniem mnoholetnih arhivov meteorologichnih danih] «Systems. Methods. Technology», p 115-121.

6. B.I. Basok, B.V. Davydenko, V.G. Novikov, R.Ya. Sorokova (2018) Modeling solar radiation for use in renewable energy and building thermal physics [Modelirovanie solnechnoho izlucheniya dlya ispolzovaniya v vozobnovlyaemoi energetice I v sroitelnoi teplofizike] Industrial heating engineering. №1 p. 44-50.

7. Hybrid sleeper collectors VOLTER available at: <https://www.atmosfera.ua/uk/produkcija-3/gibridni-sonyachni-kolektori-volther/>

8. Tariffs for hot water in Kiev 2022 available at:

<https://index.minfin.com.ua/ua/tariff/kiiev/hotwater/>

9. Tariffs for hot water in Lviv, available at: [https://bankchart.com.ua/spravochniki/in-dikator-y-rynka/tarify\\_na\\_goryachu\\_vodu/11](https://bankchart.com.ua/spravochniki/in-dikator-y-rynka/tarify_na_goryachu_vodu/11).

10. Kharkiv was deprived of the old tariff for heat and water: order, available at: <https://2day.kh.ua/ua/kharkov/u-kharkovi-zalyshyly-staryy-taryf-na-teplo-i-vodu-rozporjadzhennya>.

11. Tariffs of KP "Vodokanal" for centralized water supply and water supply available at: <https://zp.gov.ua/uk/page/perelik-tarifiv>.

12. Tariffs for hot water in Dnipro available at: [https://bankchart.com.ua/spravochniki/indikatory\\_rynka/tarify\\_na\\_goryachu\\_vodu/2](https://bankchart.com.ua/spravochniki/indikatory_rynka/tarify_na_goryachu_vodu/2).

13. Water temperature is low. What work? available at: [https://kyivcity.gov.ua/budynok\\_ta\\_komunalni\\_posluhy/vodopostachannia/nyzka\\_temperatura\\_vody\\_shcho\\_robity/](https://kyivcity.gov.ua/budynok_ta_komunalni_posluhy/vodopostachannia/nyzka_temperatura_vody_shcho_robity/)

14. Comparative table of calorific value of some types of fuels available at: <https://a-invest.com.ua/aktualno/tablitca-teplotvornosti.html>.

15. Tariffs for heat energy using alternative sources available at: <https://omr.gov.ua/ru/citizens/tariffs/tarifi-na-teplovuyu-energiyu-s-ispolzovaniem-alternativnih/>.

16. Solar panel (270 W) available at: <https://bit.ly/3g7OfFh>.

17. DSTU B A.2.2-12:2015 energy efficiency of life. The method of rozrahunka energy recovery in case of scorched, cooled, ventilated, lighted and hot water supply (2015) [Energetichna efektyvnist budivel. Metod rozrahunku energospogivanya pri opaleni, oholodzhenni, ventilyatsii, osvitleni ta garyachomy vodopostachani], Ukrarchbudinform publishing house, p 145.

18. Actual tariffs for water supply from 01/01/2022 available at: <https://infovod.com.ua/uk/info/storinka-abonentu/aktualni-tarifi-z/>

19. Heat accumulator Теплов 1000 l available at: <https://bit.ly/3BwX81A>.

## EVALUATION OF ENERGY, TEMPERATURE AND ECONOMIC CHARACTERISTICS OF HYBRID COLLECTORS

M. Shabovta, V. Razinkov

Odessa Polytechnic National University

**Annotation.** Global trends in the development of green energy actualize the issues of increasing the efficiency of its generation devices. Since solar panels are the most common type of nontraditional energy in



Ukraine, increasing their efficiency is a priority. This article discusses the option of increasing the efficiency of solar panels by converting them into a hybrid collector. By conversion, is mean comparing the characteristics of two options with the same parameters that work as a solar panel and as a hybrid collector. Water was used as a coolant for the considered hybrid collectors. The calculations were based on the solar panel heat balance equation. The amount of energy that was absorbed by the solar panel (hybrid collector) was calculated based on the operating parameters and solar radiation according to reference data from open sources of information. When compiling the heat balance, it was found that solar radiation falling on the solar panel causes it to heat up, which in turn reduces its efficiency by 14%. At the same time, the amount of thermal energy that can be obtained during the summer period exceeds the amount of electricity generated. Based on the data obtained by solving the heat balance equation, the main indicators were obtained, according to which the economic efficiency of hybrid collectors was evaluated. As a result of the assessment, it was found that at the moment the capital investments for their installation and operation are high and not attractive for mass implementation, therefore, their design requires changes aimed at reducing the cost.

*Key words:* electrical energy, photovoltaic solar panels, temperature coefficient, hybrid collector, thermal energy, panel heating, insolation area.

## ОЦЕНКА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ, ТЕМПЕРАТУРНЫХ И ЭКОНОМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГИБРИДНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ

**М. Ю. Шабовта, В. А. Разинков**

*Национальный университет «Одесская политехника»*

**Аннотация.** В данной работе было проведено исследование эффективности использования гибридных солнечных водяных коллекторов. По результатам расчета температуры нагрева солнечных панелей было установлено, что уменьшение генерации электрической энергии при нагревании составляет около 14%. При использовании гибридных коллекторов можно добиться увеличения генерации электрической энергии и дополнительно получить тепловую. Стоимость тепловой энергии при условии использования ее для нужд ГВС значительно меньше, чем покупать ее от поставщиков или получать от традиционных источников, однако из-за значительной первоначальной стоимости гибридных коллекторов их конкурентоспособность в настоящее время является низкой.

**Ключевые слова:** электрическая энергия, фотоэлектрические солнечные панели, температурный коэффициент, гибридный коллектор, тепловая энергия, нагрев панелей, площадь инсоляции.

Отримано 21.02.2022



**Шабовта Михайло Юрійович**, Національний університет «Одеська політехніка», кандидат технічних наук, доцент кафедри електропостачання та енергетичного менеджменту. 65044, Одеса, просп. Шевченко, 1, НУ «ОП», тел. (048)705-8567 E-mail: [shabovta@opu.ua](mailto:shabovta@opu.ua)

**Shabovta Mykhailo**, National University «Odessa Polytechnic», assistant professor of the Department of power supply and energy management. Shevchenko ave., 1, Odessa, Ukraine, phone number: + 38048-705-8567, E-mail: [shabovta@opu.ua](mailto:shabovta@opu.ua)

**ORCID ID:** 0000-0002-1950-2161



**Разинков Владислав Олексійович**, Національний університет «Одеська політехніка», старший викладач кафедри електропостачання та енергетичного менеджменту. 65044, Одеса, пр-т Шевченко, 1, НУ «ОП», тел. (048)705-8512 E-mail: [razinkov.v.o@opu.ua](mailto:razinkov.v.o@opu.ua)

**Razinkov Vladyslav Oleksiiovich**, National University «Odessa Polytechnic», senior teacher of the Department of power supply and energy management. Shevchenko ave., 1, Odessa, Ukraine, phone number: +38048-705-8512, E-mail: [razinkov.v.o@opu.ua](mailto:razinkov.v.o@opu.ua)

**Razinkov Vladyslav Oleksiiovich**, National University «Odessa Polytechnic», senior teacher of the Department of power supply and energy management. Shevchenko ave., 1, Odessa, Ukraine, phone number: +38048-705-8512, E-mail: [razinkov.v.o@opu.ua](mailto:razinkov.v.o@opu.ua)

**ORCID ID:** 0000-0003-0934-0426