

УДК 697.7

DOI <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2024.1.2/08>**Кутний Б.А.**

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

**Чернецька І.В.**

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

**Шнейдер С.В.**

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

## ПОРІВНЯННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ ПАНЕЛЕЙ ТА ГЕЛІОКОЛЕКТОРІВ ДЛЯ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ ІНДИВІДУАЛЬНОГО БУДИНКУ

Використання систем сонячного теплопостачання є одним із найперспективніших способів генерації енергії для теплопостачання будинків. Основними причинами, що стримують впровадження геліосистем в Україні, є високий рівень початкових капітальних витрат, добова та сезонна нерівномірність виробництва сонячної енергії, а також жорстка залежність від кліматичних умов. У той же час все гострішою стає проблема необхідності впровадження альтернативних надійних джерел енергії, здатних забезпечити автономне функціонування систем опалення та гарячого водопостачання будинків без використання традиційних високовартісних дефіцитних енергоносіїв. Перебої з електропостачанням спонукають до пошуку нових надійних джерел енергії.

Основними видами геліосистем, що забезпечують теплопостачання будинків є фотоелектричні панелі та сонячні колектори. Відповідно виникає питання щодо доцільності та економічної ефективності встановлення тієї чи іншої системи. Дана робота присвячена порівняльному аналізу фотоелектричних сонячних панелей та вакуумних колекторів для потреб теплопостачання індивідуального житлового будинку в Україні. Виконано розрахунок теплової енергії для потреб опалення будинку в умовах м. Київ, підібрано необхідне технологічне обладнання геліосистем для покриття розрахункового навантаження та обчислено економію коштів на оплаті енергоносіїв за опалювальний сезон при використанні сонячних систем теплопостачання. Визначено вартість геліосистем, які виконано із застосуванням вакуумних колекторів та фотоелектричних модулів, проведено аналіз їх термінів окупності.

**Ключові слова:** сонячна енергія, геліосистема, фотоелектричні панелі, сонячний колектор, опалення будинку, сонячне теплопостачання, термін окупності, теплоенергетика.

**Постановка проблеми.** У багатьох промислово розвинених країнах де резерви власного органічного палива сильно вичерпані або взагалі відсутні та енергетика яких базується на імпорتنих енергоносіях, питання використання нетрадиційних і поновлюваних джерел енергії стають все більш актуальними. Активно ведуться роботи по їх застосуванню в приватному будівництві та енергетиці нашої держави навіть під час війни.

В Україні розвиваються два напрямки використання сонячної енергії, які пов'язані з отриманням теплоти для гарячого водопостачання та опалення. Для одного напрямку джерелом теплоти є плоскі або трубчасті геліоколектори, для іншого – фотоелектричні панелі. Відповідно постає питання про доцільність застосування систем першого чи другого типу, що може бути оцінено на основі порівняння ефективності їх роботи.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Традиційною схемою більшості систем сонячного теплопостачання приватних будинків є схема двоконтурної геліосистеми нагрівання води з використанням сонячних колекторів та акумуляцією отриманої енергії в баку-акумуляторі. Фотоелектричні панелі у більшості випадків застосовуються як елемент сонячної електростанції (СЕС) для продажу державі електричної енергії [1, 2]. З урахуванням клімату України, обов'язковою умовою для практичного використання систем сонячного теплопостачання є встановлення резервного (додаткового) джерела енергії, наприклад, котла [3].

Важливим показником при визначенні ефективності роботи геліосистеми є розрахунок коефіцієнта заміщення палива як частки навантаження на опалення, яке забезпечується за рахунок сонячної

енергії [3]. Ефективне використання означає, що геліоустановка може забезпечити потреби споживачів в опаленні до 25%. Кількість теплоти, що може бути сприйнята сонячними колекторами чи панелями в містах України визначають згідно з даними [4] та методикою, описаною в [5]. Приблизний простий термін окупності геліоустановки визначають як відношення вартості геліосистеми до сезонної зекономленої суми оплати за енергоносії при використанні сонячної установки.

**Метою статті** є порівняння на основі теплотехнічних та економічних розрахунків ефективності застосування фотоелектричних сонячних панелей та вакуумних сонячних колекторів для енергозабезпечення системи тепlopостачання індивідуального житлового будинку.

**Виклад основного матеріалу.** Вихідним об'єктом дослідження є індивідуальний двоповерховий житловий будинок, розташований у м. Київ. Опалювальна площа будівлі – 117,7 м<sup>2</sup>, опалювальний об'єм – 346,8 м<sup>3</sup>. Основним джерелом теплоти в будинку є електричний котел.

Розрахункові зовнішні середні місячні температури ( $t_{\text{ср.міс}}$ ) взяті згідно ДСТУ Н.Б.В.1-27.2010 «Будівельна кліматологія», табл. 2 [4]. Тепловтрати будинку пораховано згідно стандарту EN 12831:2003 [6].

Витрату теплової енергії по кожному місяцю опалювального періоду пораховано згідно формули, кВт×год:

$$Q_{\text{міс}} = \Phi_i \cdot 24 \cdot n_{\text{діб}}, \quad (1)$$

де  $\Phi_i$  – середньомісячне теплове навантаження будинку, кВт;

$n_{\text{діб}}$  – число днів у місяці, діб.

Результати розрахунку витрат теплової енергії наведено в таблиці 1.

Таблиця 1  
Результати розрахунку витрати теплової енергії для потреб опалення будинку

Назва місяця	$n_{\text{діб}}$	$t_{\text{ср.міс}}, \text{ } ^\circ\text{C}$	$\Phi_i, \text{ кВт}$	$Q_{\text{міс}}, \text{ кВт}\times\text{год}$
Січень	31	-4,7	6,991	5201
Лютий	28	-3,6	6,702	4504
Березень	31	1,0	5,492	4086
Листопад	30	1,9	5,254	3783
Грудень	31	-2,5	6,413	4771
Всього:				22345

Для порівняння ефективності використано сонячний вакуумний колектор Atmosfera СВК-А 20 [7] із площею теплосприймаючої поверхні ( $S_k$ ) 1,6 м<sup>2</sup>, коефіцієнтом корисної дії (ККД) 92% та

сонячну фотоелектричну батарею LongiSolar LR5-54НІН-410М [8] з  $S_k = 1,95 \text{ м}^2$ , ККД = 21%.

Кількість теплоти, що може бути сприйнята сонячними колекторами чи панелями на широті м. Київ визначено згідно з даними ДСТУ Н.Б.В.1-27.2010 [4]. Розрахунок середньомісячної сумарної кількості сонячної енергії, яка надходить ( $E_n$ ) і сприймається ( $E_k$ ) похилою поверхнею сонячного колектора та фотоелектричної батареї наведено на рисунках 1, 2.

Згідно результатів розрахунку для ефективного використання сонячних вакуумних колекторів для потреб опалення будинку потрібно 15 шт., а фотоелектричних панелей – 53 шт.

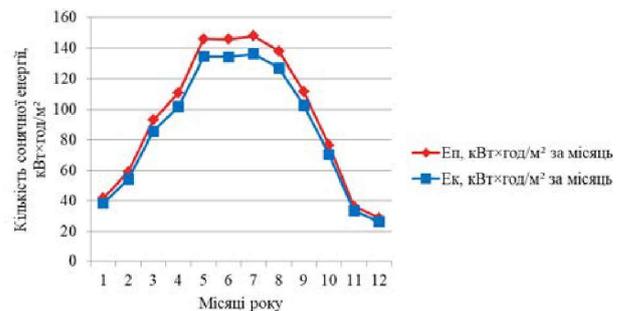


Рис. 1. Ілюстрація виконаних розрахунків для 1 м<sup>2</sup> сонячного вакуумного колектора

Ступінь заміщення палива за опалювальний сезон для обох випадків пораховано згідно формули:

$$f^{\text{сез}} = \frac{Q_C^{\text{сез}}}{Q_H^{\text{сез}}}, \quad (2)$$

де  $Q_C^{\text{сез}}$  – сезонна к-сть теплоти, яка забезпечується геліосистемою, кВт×год;

$Q_H^{\text{сез}}$  – сезонна величина теплового навантаження для потреб опалення будинку;  $Q_H^{\text{сез}} = 22345 \text{ кВт}\times\text{год}$ , згідно таблиці 1.

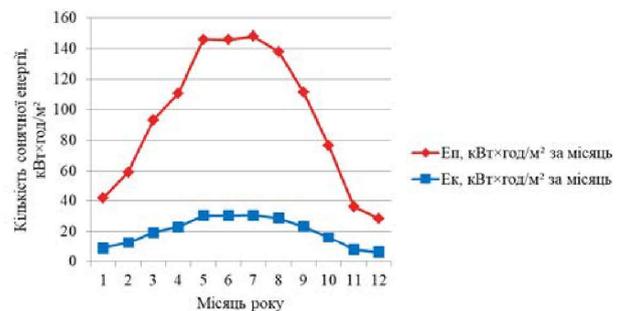


Рис. 2. Ілюстрація виконаних розрахунків для 1 м<sup>2</sup> сонячної фотоелектричної батареї

Згідно формули (2) ступінь заміщення палива для геліосистеми з 15-ти сонячних вакуумних колекторів складає:

$$f^{\text{сез}} = \frac{5736}{22345} = 0,26$$

Ступінь заміщення палива для геліосистеми з 53-ох сонячних фотоелектричних панелей складає:

$$f^{сез} = \frac{5580,9}{22345} = 0,25$$

Отже, умова ефективного використання в покритті теплового навантаження для опалення будинку виконана.

При порівнянні ефективності застосування сонячних установок їх термін окупності повинен бути менше терміну служби сонячного колектора чи сонячної батареї (25 років). У разі підвищення тарифів на електроенергію протягом терміну служби геліосистеми період окупності зменшиться [3].

У розрахунку використано схему системи сонячного теплопостачання з акумуляцією отриманої енергії (рис. 3).

Згідно ДСТУ-Н Б В.2.5-43:2010 [9] ємність бака-акумулятора ( $V_{БА}$ ) для систем із примусовою циркуляцією визначають відповідно до площі сонячних колекторів (СК) із розрахунку  $0,06-0,08 \text{ м}^3$  на  $1 \text{ м}^2$  СК (менші значення рекомендовані для I зони). Так як згідно ДБН В.2.6-31:2021 [10] м. Київ знаходиться в I температурній зоні, то взято значення  $0,06 \text{ м}^3/\text{м}^2$  і виконано розрахунок за формулою,  $\text{м}^3$ :

$$V_{БА} = S_{п} \cdot 0,06, \quad (3)$$

де  $S_{п}$  – площа поглинаючої поверхні СК,  $\text{м}^2$ .

Площа поглинаючої поверхні СК знайдена за залежністю,  $\text{м}^2$ :

$$S_{п} = S_{к} \cdot n_{шт} \quad (4)$$

де  $S_{к}$  – площа абсорбера одного колектора Atmosfera СВК-А 20,  $S_{к} = 1,6 \text{ м}^2$  [7];

$n_{шт}$  – кількість сонячних колекторів згідно результатів розрахунку,  $n_{шт} = 15$  шт.;

$$S_{п} = 1,6 \cdot 15 = 24 (\text{м}^2).$$

Після підстановки вихідних даних у формулу (3), отримуємо:

$$V_{БА} = 24 \cdot 0,06 = 1,44 (\text{м}^3).$$

Обрано теплоакумулятор ЕкоЕнергія АБ-1600 1В об'ємом – 1600 л з нижнім теплообмінником потужністю 25 кВт [11].

Величину необхідної потужності насоса 185 Вт визначено залежно від площі сонячного колектора. Обрано циркуляційний насос Wilo TOP-S 25/7 DM потужністю 195 Вт [12] та контролер для систем сонячного нагріву води Altek, Atmosfera: SR618C6 [13].

Економічний ефект від застосування геліоколекторів оцінимо за економією електричної енергії на роботу системи гарячого водопостачання, оскільки саме вона складатиме основне навантаження.

Добові витрати електроенергії для нагрівання води в баку-акумуляторі при застосуванні електричного нагрівача, пораховано за формулою, кВт×год:

$$W_{ЕЛ} = \frac{V_{БА} \cdot \rho_{в} \cdot c_{в} \cdot (t_{ГВ} - t_{ХВ})}{3600} \quad (5)$$

де  $\rho_{в}$  – густина води, кг/л;  $c_{в}$  – питома теплоємність води, кДж/кг·°С;

$t_{ГВ}, t_{ХВ}$  – температура гарячої і холодної води, °С.

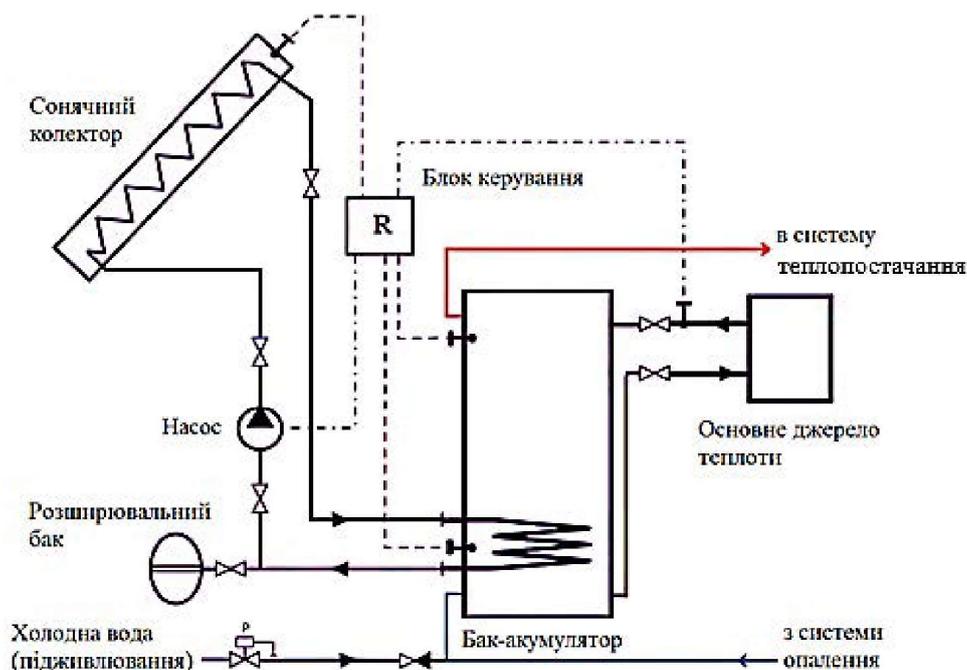


Рис. 3. Схема системи теплопостачання з використанням сонячних колекторів і бака-акумулятора

Після підстановки вихідних даних у формулу (5), отримаємо:

$$W_{\text{ЕЛ}} = \frac{1600 \cdot 0,98 \cdot 4,187 \cdot (55-5)}{3600} = 91,18 \text{ (кВт}\times\text{год)}.$$

Економія коштів на оплату енергоносіїв, грн.:

$$\Gamma = W_{\text{ЕЛ}} \cdot C_{\text{ЕЛ}} \cdot n_{\text{РОБ}}, \quad (6)$$

де  $C_{\text{ЕЛ}}$  – діючий тариф на електроенергію,  $C_{\text{ЕЛ}} = 2,64$  грн./кВт×год;  
 $n_{\text{РОБ}}$  – кількість днів опалювального періоду.

Таким чином, згідно формули (6), зекономлено коштів:

$$\Gamma = 91,18 \cdot 2,64 \cdot 151 = 36348 \text{ (грн.)}$$

Вартість основних комплектуючих геліосистеми на базі сонячних вакуумних колекторів наведено в таблиці 2.

Таблиця 2

**Вартість основних комплектуючих геліосистеми на базі сонячних колекторів**

Найменування	Позначення	Ціна, грн	Кількість, шт	Сума, грн
Колектор	$\Gamma_{\text{СК}}$	17 290	15	259 350
Бак – акумулятор	$\Gamma_{\text{БА}}$	30 900	1	30 900
Додаткове обладнання для геліосистеми*	$\Gamma_{\text{ДО}}$	12 337	1	20 442
		8085	1	
Роботи з монтажу і встановлення **	$\Gamma_{\text{РОБ}}$	60 517	-	60 517
Вартість геліосистеми	$\Gamma_{\text{ГС}}$	-	-	371 209

\*Додаткове обладнання геліосистеми складається з вартості насоса та контролера

\*\* Вартість робіт з монтажу прийнято як 20% від вартості основного обладнання

Приблизний простий термін окупності геліосистеми, рік:

$$\tau_{\text{ОК}} = \frac{\Gamma_{\text{ГС}}}{\Gamma} \quad (7)$$

У нашому випадку:

$$\tau_{\text{ОК}} = \frac{371\,209}{36\,348} = 10,2 \text{ (рік)}$$

Отже, при використанні геліосистеми з 15-ти сонячних вакуумних колекторів для потреб часткового опалення будинку термін окупності сонячної установки складає 10,2 років.

Потужність геліосистеми з 53-ох фотоелектричних модулів, кВт:

$$P_{\text{ГС}} = P_{\text{СБ}} \cdot n_{\text{СБ}} \quad (8)$$

де  $P_{\text{СБ}}$  – потужність однієї сонячної батареї LongiSolar LR5-54НН-410М;

$P_{\text{СБ}} = 0,41$  кВт, згідно технічних характеристик [8];

$n_{\text{СБ}}$  – кількість сонячних фотоелектричних модулів за розрахунком.

$$P_{\text{ГС}} = 0,41 \cdot 0,53 = 21,72 \text{ (кВт)}.$$

Вартість основних комплектуючих геліосистеми на базі сонячних панелей наведено в таблиці 3.

Таблиця 3

**Вартість основних комплектуючих геліосистеми на базі сонячних панелей**

Найменування	Позначення	Ціна, грн.	Кількість, шт.	Сума, грн.
Колектор	$\Gamma_{\text{СК}}$	6 176	53	327 328
Бак – акумулятор	$\Gamma_{\text{БА}}$	30 900	1	30 900
Додаткове обладнання для геліосистеми*	$\Gamma_{\text{ДО}}$	56 022	1	71 856
		15 834	1	
Роботи з монтажу і встановлення **	$\Gamma_{\text{РОБ}}$	86 017	-	86 017
Вартість геліосистеми	$\Gamma_{\text{ГС}}$	-	-	516 101

\*Додаткове обладнання геліосистеми: сонячний мережвий інвертор SOLIS-20K із номінальною вихідною потужністю 20 кВт [14] та двосторонній електричний лічильник для «зеленого тарифу» GAMA 300 G3B.144.230. F27 5 (100) А трифазного [15]

\*\* Вартість монтажних робіт прийнято як 20% від вартості основного обладнання

Таблиця 4

**Середньомісячна потреба в тепловій енергії на опалення ( $Q_{\text{міс}}$ ) залежно від середньомісячної суми сонячної радіації ( $E_{\text{міс}}$ ), виробленої системою з 53-ох сонячних модулів із загальною площею 103,35 м<sup>2</sup>**

Назва місяця	$Q_{\text{міс}}$ , кВт×год	$E_{\text{міс}}$ , кВт×год
Січень	5201	911
Лютий	4504	1281
Березень	4086	2018
Квітень	-	2399
Травень	-	3167
Червень	-	3164
Липень	-	3207
Серпень	-	2991
Вересень	-	2417
Жовтень	-	1658
Листопад	3783	790
Грудень	4771	624

Для визначення річного прибутку від продажу електроенергії згідно «зеленого тарифу» використано формулу, грн.:

$$\Gamma_{\text{ЗТ}} = C_{\text{ЕЛ.ЗТ}} \cdot E_{\text{СУМ}} \quad (9)$$

де  $C_{\text{ЕЛ.ЗТ}}$  – тариф на електроенергію, вироблену з енергії сонячного випромінювання генеруючими установками приватних господарств, встановлена потужність яких не перевищують 30 кВт,  $C_{\text{ЕЛ.ЗТ}} = 6,28$  грн/кВт×год;

$E_{\text{СУМ}}$  – сума надлишку енергії, виробленої геліосистемою на базі фотоелектричних модулів з квітня

по жовтень включно,  $E_{\text{СУМ}}=19003$  кВт×год, згідно результатів розрахунку, які наведені в таблиці 4.

$$\Gamma_{\text{ЗТ}}=6,28 \cdot 19 \ 0003=119 \ 339 \text{ грн.}$$

Приблизний простий термін окупності геліосистеми пораховано згідно формули, рік:

$$\tau_{\text{ОК}}=\frac{\Gamma_{\text{ГС}}}{\Gamma+\Gamma_{\text{ЗТ}}}, \quad (10)$$

У нашому випадку:

$$\tau_{\text{ОК}}=\frac{516 \ 101}{36 \ 348+119 \ 339}=3,3 \text{ (рік)}$$

Отже, при використанні геліосистеми з 53-ох сонячних фотоелектричних модулів для

потреб часткового опалення будинку, термін окупності сонячної установки складає 3,3 року.

**Висновки.** Таким чином, результати розрахунку показують, що незважаючи на менші початкові інвестиції у встановлення вакуумних сонячних колекторів, їх термін окупності на 6,9 років більший порівняно з геліоустановкою на базі фотоелектричних модулів. Також важливо, що після закінчення терміну окупності системи з фотоелектричними модулями, річний прибуток від продажу надлишку електричної енергії за «зеленим тарифом» для умов м. Києва з квітня по листопад складатиме 119 339 грн.

#### Список літератури:

1. Малєєв В.О. Перспективи розвитку сонячної енергетики в Україні / В.О. Малєєв, В.М. Безпальченко, Д.С. Макачук // Актуальні проблеми сучасної енергетики: матеріали II-ї Всеукраїнської науково-практичної інтернет-конференції студентів, аспірантів і молодих вчених. Херсон : ХНТУ, 2017. С.74–70.
2. Мхітарян Н. М. Енергозбеігаючі технології в житловому та цивільному будівництві / Н. М. Мхітарян. К. : Наукова думка, 2000. 416 с.
3. Сонячна енергетика: теорія та практика: монографія [Текст] / Й.С. Мисак, О.Т. Возняк, О.С. Дацько, С.П. Шаповал. Львів: Вид-во Львів. політехніки, 2014. 340 с.
4. ДСТУ-Н.Б.В.1.1-27:2010. Будівельна кліматологія. Київ, 2011. 119 с.
5. Оцінка сучасного енергетичного потенціалу джерел чистої енергії Сумської області. URL: [https://merp.org.ua/images/Docs/USAID\\_MERP\\_Sumy\\_Oblast\\_ASEpotential.pdf](https://merp.org.ua/images/Docs/USAID_MERP_Sumy_Oblast_ASEpotential.pdf) (дата звернення: 20.11.2023).
6. EN 12831:2003 (E) Heating systems in buildings – Method for calculation of the design heat load. – CEN, 2003. – 76 с.
7. Вакуумний колектор СВК-20. URL: <https://prel.prom.ua/p464893247-vakuumnij-kolektor-svk.html> (дата звернення: 20.11.2023).
8. Сонячна батарея Longi Solar LR5-54НН-410М, 410Вт. URL: <https://solar-tech.com.ua/ua/solar-electricity/solar-panels/solnechnaya-batareya-longi-solar-lr5-54nih-410m-chorna-rama.html> (дата звернення: 20.11.2023).
9. ДСТУ-Н Б В.2.5-43:2010. Інженерне обладнання будинків і споруд. Настава з улаштування систем сонячного теплопостачання в будинках житлового і громадського призначення. К., 2010. 45 с.
10. ДБН В.2.6-31:2021. Теплова ізоляція та енергоефективність будівель. Київ, 2022. –3 с.
11. Теплоаккумулятор ЕкоЕнергія АБ- 1600 1Н 25кВт з нижнім теплообмінником. URL: <https://ekoenergy.com.ua/ua/p1091462182-teploakkumulyator-ekoenergiya-1600.html> (дата звернення: 20.11.2023).
12. Циркуляційний насос Wilo TOP-S 25/7 DM. URL: <https://teploradost.com.ua/ua/cirkulyacionnyj-nasos-wilo-tops-257-dm-2048321> (дата звернення: 20.11.2023).
13. Контролер для сонячних колекторів. URL: <https://solarbud.com.ua/ua/p412812099-sr618s6-sk618s6-kontroler.html> (дата звернення: 20.11.2023).
14. SOLIS-20K Сонячний мережевий інвертор. URL: <https://eco-tech.com.ua/ua/p799239666-solis-20k-solnechnyj.html> (дата звернення: 20.11.2023).
15. Двосторонній елетросчечик для «зеленого» тарифа GAMA 300 G3B.144.230.F27 5 (100) А трифазний. URL: <https://eco-tech.com.ua/ua/p501786832-dvustoronnij-eletroschetchik-dlya.html> (дата звернення: 20.11.2023).

#### Kutny B.A., Chernetska I.V., Shneider S.V. COMPARISON OF THE EFFICIENCY OF USING PHOTOVOLTAIC PANELS AND SOLAR COLLECTORS FOR HEAT SUPPLY OF AN INDIVIDUAL HOUSE

*The use of solar heating systems is one of the most promising ways to generate energy for heating individual houses. The main reasons that hinder the introduction of solar thermal systems in Ukraine are the high level of initial capital costs, daily and seasonal irregularity of solar energy production, as well as strict dependence on climatic conditions. At the same time, there is a growing need to introduce alternative reliable energy sources capable of ensuring the autonomous operation of heating and hot water supply systems in individual houses without using traditional high-cost scarce energy carriers. Power outages prompt the search for new reliable sources of energy.*

*The main types of solar systems that provide heat to buildings are photovoltaic panels and solar collectors. Accordingly, a question arises as to the expediency and economic efficiency of installing one or another system. This paper is devoted to a comparative analysis of photovoltaic solar panels and vacuum collectors for the heat supply needs of an individual residential building in Ukraine. The calculation of thermal energy for the heating needs of an individual house in the conditions of the Kyiv city has been carried out, the necessary technological equipment of solar systems has been selected to cover the calculated load, and the cost savings on the payment of energy carriers during the heating season when using solar heat supply systems have been calculated. The cost of solar systems made with the use of vacuum collectors and photovoltaic modules has been determined, their payback periods being analyzed.*

**Key words:** solar energy, solar system, photovoltaic panels, solar collector, house heating, solar heat supply, payback period, heat power industry.