

## ЕНЕРГЕТИКА ТА ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

УДК 658-264

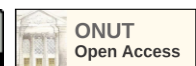
**Аналіз ефективності застосування різних типів сонячних систем для сезонних споруд санаторного та рекреаційного типу****О. А. Климчук<sup>1</sup>✉, Г. В. Лужанська<sup>2</sup>, О. С. Жайворон<sup>3</sup>, С. І. Грищенко<sup>4</sup>, А. Ю. Каверін<sup>5</sup>**<sup>1-5</sup>Національний університет «Одеська політехніка», просп. Шевченка, 1, Одеса, 65044, Україна✉ e-mail: <sup>1</sup>klymchuk@op.edu.uaORCID: <sup>1</sup><http://orcid.org/0000-0002-5207-7259>; <sup>2</sup><https://orcid.org/0000-0002-3784-5926>; <sup>3</sup><https://orcid.org/0000-0001-6750-2388>; <sup>4</sup><https://orcid.org/0000-0002-0686-1149>; <sup>5</sup><https://orcid.org/0009-0002-6762-1808>

*В роботі проведено аналіз сучасного стану різних типів сонячних систем для енергозабезпечення сезонних споруд санаторного та рекреаційного типу. Одним з основних питань є надійне забезпечення споживачів тепловою енергією впродовж року. Основною метою дослідження є аналіз ефективності застосування різних типів сонячних систем для заміщення теплової енергії об'єктів санаторного типу та рекреації, та визначення частки заміщеної теплової енергії при використанні різних типів сонячних систем. Більшість сучасних методик для розрахунку сонячних систем, засновані на табличних значеннях, при цьому часто сонячні колектори розміщуються не в спеціально обладнаних місцях і не під точно вивіреним кутом нахилу до горизонту, а прямо на дахах будівель. В роботі приводиться інший підхід, дозволяє динамічно визначати кількість сонячної радіації, яка надходить на довільно орієнтовану в просторі поверхню, в який-небудь момент часу для потрібного регіону. На основі кліматичних даних та результатів моделювання процесів генерації енергії від різних систем (сонячна електрична станція, геліосистема на базі вакуумних колекторів, геліосистема на базі плоских сонячних колекторів) було проведено дослідження ефективності використання різних типів сонячних систем. Оцінено співставлення видобутку енергії та її споживання, визначено заміщення частки теплової енергії. Для геліосистеми із використанням сонячних колекторів плоского типу найбільш ефективним є період з травня по серпень року, при цьому плоский колектор має більшу питому поверхню; для геліосистеми із використанням сонячних колекторів вакуумного типу найбільш ефективним є період демісезонної пори року та взимку, вказане пояснюється відносно тепловими меншими втратами; для сонячних електростанцій є період взимку. характеризується низькою ефективністю теплових систем за температурою теплоносія та більшим питомим ККД за рахунок більш низької температури навколишнього середовища.*

**Ключові слова:** Електрична енергія; Теплова енергія; Фотоелектричні сонячні панелі; Ефективність; Максимальна потужність; Енергетичні характеристики; Температурний режим панелей; Сонячна інсоляція

doi: <https://doi.org/10.15673/ret.v60i4.3074>

© The Author(s) 2024. This article is an open access publication

This work is licensed under the Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY) <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>**1. Вступ**

В усьому світі простежується чітка тенденція економії паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР). Насамперед це пов'язано з постійною зміною клі-

мату – глобальним потеплінням на планеті, збільшенням вартості викопного палива (вугілля, нафти, газу) у зв'язку з його вичерпністю, складністю видобутку та транспортування. В результаті в країні невпинно підвищується інтерес до викори-

стання відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) для задоволення потреб людства в тепловій та електричній енергії, що робить державу енергетично незалежною.

Об'єднана енергетична система (ОЕС) України є сукупністю атомних, гідравлічних та гідроакмулюючих електростанцій, теплових, теплоелектроцентралі, а також електростанції з відновлювальних джерел енергії (повітряні, сонячні тощо), магістральних та розподільчих електромереж, які об'єднані спільним режимом виробництва, передачі та розподілу енергії. Саме на основі балансу виробництва та споживання потужності, ремонтів, а також можливості ліквідації аварійних ситуацій при відключенні генеруючого обладнання на електростанціях та магістральних лініях електропередачі визначаються різні варіації режимів роботи ОЕС. Процес диспетчеризації є невід'ємною частиною ефективної роботи ОЕС, завдяки цьому забезпечується баланс між виробництвом та споживанням електроенергії. Мається на увазі, що система ОЕС має працювати без будь-яких збоїв. Але такого, на жаль, не буває. У ході роботи іноді виникають порушення режимів роботи всієї ОЕС або її окремих частин. Тому оператору, внаслідок певних факторів, необхідно вживати різноматіні заходи для обмеження споживання електричної енергії та потужності, а також застосовувати спеціальні графіки та системи зниження електроспоживання.

Ще одним питанням є надійне забезпечення споживачів тепловою енергією впродовж року. Окремо це стосується санаторних та рекреаційних об'єктів, що працюють насамперед влітку та демісезонний період.

Для вирішення вказаних проблем та боротьби з глобальним потеплінням актуальними постають питання переходу до зменшення вуглецево ємнісних енергетичних ресурсів при виробництві постачанні енергії [1]

## 2. Аналіз літературних джерел та постановка проблеми

Декарбонізація енергетичного сектора є важливим завданням у контексті низьковуглецевого розвитку енергетичної галузі, займаючи центральну роль у генерації енергії.

Основні напрямки декарбонізації:

- електрифікація;
- декарбонізація генерації потужності електро-

енергії;

– енергоефективність-зниження питомих витрат і втрат енергії при видобутку, перетворенні, транспорті та кінцевому споживанні ПЕР.

Ці напрями взаємопов'язані та підтримують один одного.

Метою декарбонізації в енергетичному секторі є заміна традиційного викопного палива, на електроенергію, що виробляється з використанням низьковуглецевих ресурсів, таких як ВДЕ.

Аналізуючи результати світового теоретичного та експериментального досвіду використання ВДЕ для виробництва електричної енергії, постійне зростання застосування, простежується стійка тенденція використання ВДЕ саме в енергетичному секторі [2]. Для нашої держави це стає найважливішим питанням. Вже зараз на законодавчому рівні встановлено амбітні цілі щодо скорочення викидів парникових газів, де відновлювані джерела енергії відіграють ключову роль.

В якості ВДЕ на території України великий потенціал у розвитку та експлуатації енергетичних установок мають сонячна та вітрова енергетика, енергія біомаси [3-5].

Саме до змінних відновлюваних джерел енергії (ЗВДЕ) належать сонячні станції вони здатні частково замінити традиційні засоби виробництва енергії.

Від традиційної генерації ЗВДЕ відрізняються наступними показниками:

– генерація енергії від ЗВДЕ має коливальний характер, а доступність того чи іншого виду ЗВДЕ визначається регіональними кліматичними умовами та технічним потенціалом обраних ЗВДЕ [6];

– по регіонах України ЗВДЕ розподілені нерівномірно: регіони з високим технічним потенціалом для відновлюваної генерації розосереджені; ці місцевості не вирівняні з осередками навантаження, як основна частина сучасного виробництва електроенергії [7];

– повністю відсутні витрати виробництва палива при використанні відновлювальних джерел енергії.

Постійний розвиток ЗВДЕ у постійному безперебійному енергозабезпеченні відповідає національній політиці та Енергетичній Стратегії України [8, 9] не лише в галузі енергозбереження, а й сприяє суттєвому зменшенню викидів парникових газів [10]. Як наслідок цього, надалі, в енергосистемі країни будуть потрібні кардинально адаптаційні заходи вже найближчими роками. Вже неза-

баром може виникнути необхідність таких змін, що відповідає політичній та економічній меті об'єднання українського та європейського ринку електроенергії.

Впровадження сучасних раціональних архітектурних та будівельних рішень у будинках та спорудах різного призначення насамперед споруд санаторного та рекреаційного призначення дозволять зменшити використання вичерпних традиційних первинних енергоресурсів і, як наслідок, викиди парникових газів.

Однак є не вирішеним питання раціонального застосування різних типів сонячних станцій для потреб споруд санаторного та рекреаційного призначення. Для визначення зон ефективного застосування необхідно провести дослідження на типовому об'єкті вказаної інфраструктури.

### 3. Мета та задачі дослідження

Основною метою дослідження є аналіз ефективності застосування різних типів сонячних систем для заміщення теплової енергії об'єктів санаторного типу та рекреації, та визначення частки заміщеної теплової енергії при використанні різних типів сонячних систем.

Для досягнення поставленої мети необхідно було вирішити наступні задачі:

- проаналізувати сучасний стан застосування сонячних систем для видобутку енергії на потреби комплексів санаторного типу;
- за допомогою спеціалізованого програмного комплексу провести моделювання роботи різних типів сонячних системи для забезпечення теплопостачання вказаних об'єктів;
- визначити частку заміщення теплоти від сонячних систем теплопостачання різного типу для потреб споруд санаторного та рекреаційного призначення.

### 4. Матеріали та методи досліджень

Більшість сучасних методик, наведених у стандартах та рекомендаціях для розрахунку сонячних систем, засновані на табличних значеннях. У такого підходу достатньо недоліків, головні з яких:

- велика складність використання емпіричних таблиць при автоматизованих розрахунках;
- неможливість визначення теплонадходжень від сонячної радіації в довільний момент часу на довільно орієнтовану поверхню.

Проблема полягає в тому, що часто сонячні колектори розміщуються не в спеціально обладнаних місцях і не під точно вивіреном кутом нахилу до горизонту, а прямо на дахах будівель. Це означає, що кут між площиною колектора та горизонтом, а також і відхилення положення колектора відносно напрямку на південь можуть бути будь-якими. У такій ситуації табличні дані про надходження сонячної радіації для певного регіону є неприйнятними для інженерного розрахунку [11].

В даній методиці приводиться інший підхід, який дозволяє динамічно визначати кількість сонячної радіації, яка надходить на довільно орієнтовану в просторі поверхню, в який-небудь момент часу для потрібного регіону. Ця методика ґрунтується на понятті сонячної константи – кількості тепла, яке надходить від Сонця на Землю через космос. Ця величина рівна 1362 Вт/м<sup>2</sup>. При розрахунках потрібно враховувати, що приблизно 30-35% цієї енергії відбивається назад у космос. Тоді, враховуючи потік прямої сонячної радіації на поверхню під кутом до цього потоку, рівний:

$$S_{np} = S_{\max} \cdot \cos \theta \cdot K_{am} \quad (1)$$

де  $\theta$  – приведений кут падіння сонячних променів на поверхню інсоляції, рад., причому:

$$\cos \theta = \sinh \cdot \cos \alpha + \sin \alpha \times (\cos \psi z \cdot \tan L \cdot \sinh + \sin \psi z \cdot \cos \delta \cdot \sin \tau) \quad (2)$$

де  $\alpha$  – кут нахилу площини сонячного колектора до горизонту, град;  $L$  – географічна широта місцевості, де розміщений геліоколектор, град;  $\psi z$  – азимут поверхні колектора, град, тобто кут між нормаллю до площини колектора і напрямком на південь (це дозволяє розраховувати теплопоступлення на поверхні, які не строго орієнтовані на південь);  $\tau$  – часовий кут, град, розраховується за простою формулою:

$$\tau = \frac{\pi}{12} (12 - t) \quad (3)$$

де  $t$  – сонячний час для даної місцевості, год;  $\delta$  – схилання Сонця, град:

$$\delta = 23,45 \cdot \sin \left[ \frac{2\pi}{365} \cdot (284 + N) \right] \quad (4)$$

де  $N$  – порядковий номер дня року (починаючи з 1, що відповідає 1-ому січню);  $h$  – кут, який визначає висоту Сонця над горизонтом в даний момент часу, град, синус цього кута дорівнює:

$$\sinh = \cos \tau \cdot \cos \delta \cdot \cos L + \sin \theta \cdot \cos L \quad (5)$$

$K_{am}$  – коефіцієнт, який враховує поправку на повітряну масу, яку необхідно пройти променю:

$$K_{am} = 1,1254 - \frac{0,1366}{\sinh} \quad (6)$$

У правильності формули (2) можна легко переконатись, коли поверхня колектора орієнтована на південь. При цьому ми отримуємо спрощену формулу для визначення приведенного кута падіння, яка легко може бути виведена потім за допомогою геометричних перетворень зі схематичним зображенням кутів нахилу колектора та висоти світила над горизонтом

$$\cos \theta = \sinh \cdot \cos \alpha + \cosh \cdot \sin \alpha \quad (7)$$

Формула (1) дозволяє розрахувати тільки лише величину потоку прямої сонячної радіації, спрямовану на довільну поверхню. Але все ж кожен сонячний колектор сприймає також дію розсіяної сонячної радіації. Більш складний розрахунок цієї складової частини енергії, яка надходить на сонячний колектор – процес досить складний. Однак, з достатньою точністю для довільно розміщеної поверхні цю величину можна апроксимувати емпіричною залежністю:

$$S_{розс} = 137,1 - 14,82 \cdot \frac{1}{\sinh} \quad (8)$$

Остаточно, загальний потік енергії, який приноситься сонячної радіацією на довільно орієнтовану в просторі нахилу поверхню на широті  $L$ , рівний:

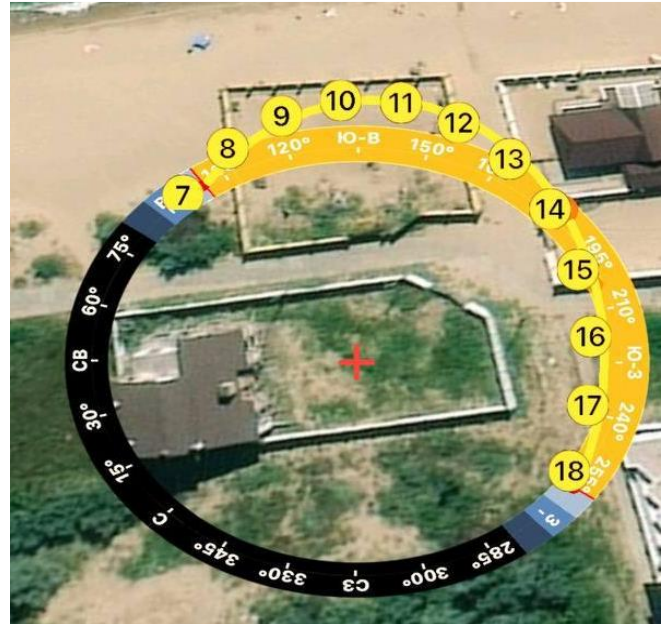
$$S = S_{пр} + S_{розс} \quad (9)$$

На основі наведених вище теоретичних викла-

док в систему NeoHeatingPro було додано алгоритм, який дозволяє динамічно моделювати зміни у кількості енергії, яку сприймає сонячний колектор у залежності від часу (включаючи, як день року, так і добовий час), положення колектора у просторі (кут нахилу до горизонту та орієнтація по відношенню до півдня) і географічну широту [12-16].

## 5. Результати досліджень

Для аналізу ефективності роботи сонячних станцій різних типів було обрано санаторій в одеській області на узбережжя Чорного моря на 42 місця (рис 1).



**Рисунок 1** – Розташування санаторію для літнього відпочинку та оздоровлення. Умовні позначення: СВ – північний схід; ЮВ – південний схід; ЮЗ – південний захід; СЗ – північний захід; С – північ; Ю – південь; З – захід; В – схід

Впродовж року велись спостереження за технічними показниками відвідування санаторію. Враховувалась зміна температури холодної води впродовж року (від 5 °С взимку до 15 °С влітку), мінімальна температура гарячої води приймалась не нижче 45 °С, також враховувалась частка відвідування санаторію протягом року (данні отримані при експлуатації). Основні показники наведені в таблиці.

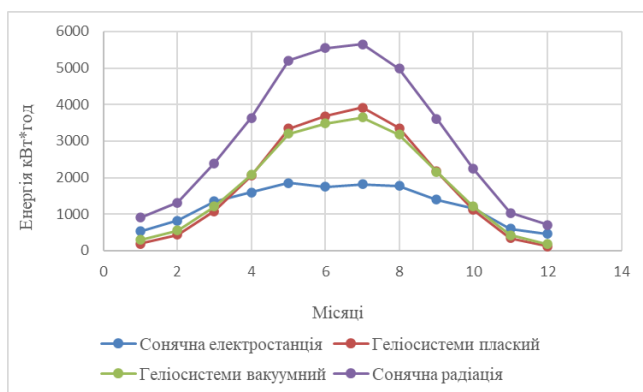
**Таблиця** – Основні технічні показники санаторію впродовж року

| Місяць | Кількість місць | Коефіцієнт заповнення | Питома витрата води, л/люд | Витрата води, л | $Q$ , кВт·год |
|--------|-----------------|-----------------------|----------------------------|-----------------|---------------|
| Січень | 42              | 0,2                   | 80                         | 20832           | 970,6212      |
| Лютий  | 42              | 0,2                   | 80                         | 18816           | 876,6901      |

**Продовження таблиці**

|          |    |     |    |        |          |
|----------|----|-----|----|--------|----------|
| Березень | 42 | 0,4 | 80 | 41664  | 1941,242 |
| Квітень  | 42 | 0,6 | 80 | 60480  | 2465,691 |
| Травень  | 42 | 0,9 | 80 | 93744  | 3275,847 |
| Червень  | 42 | 1   | 80 | 100800 | 3522,416 |
| Липень   | 42 | 1   | 80 | 104160 | 3639,83  |
| Серпень  | 42 | 1   | 80 | 104160 | 3639,83  |
| Вересень | 42 | 0,9 | 80 | 90720  | 3170,174 |
| Жовтень  | 42 | 0,7 | 80 | 72912  | 2972,527 |
| Листопад | 42 | 0,2 | 80 | 20160  | 939,3108 |
| Грудень  | 42 | 0,2 | 80 | 20832  | 970,6212 |

На основі кліматичних даних та результатів моделювання процесів генерації енергії від різних систем (сонячна електрична станція, геліосистема на базі вакуумних колекторів, геліосистема на базі плоских сонячних колекторів) для умов означеного типового об'єкта (30 сонячних колекторів на даху будівлі) було проведено дослідження ефективності використання різних типів сонячних систем (рис 2).



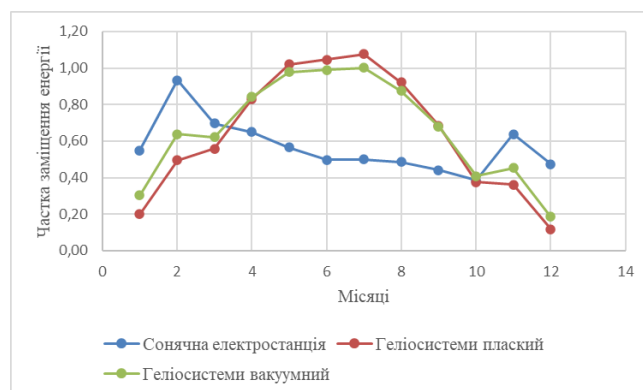
**Рисунок 2** – Результати моделювання генерації енергії (електричної СЕС, та теплової від геліосистем) впродовж року для об'єкта санаторного типу на узбережжі Чорного моря.  
Місяці 1 – січень....12 – грудень.

Як видно за результатами моделювання для літньої пори року більш ефективним є використання для потреб теплопостачання геліосистеми на основі плоских сонячних колекторів. При цьому для демісезонного періоду та зимового періоду вакуумні сонячні системи мають більшу ефективність видобутку теплової енергії.

Для оцінювання співставлення видобутку енергії та її споживання було проведено дослідження заміщення частки теплової енергії завдяки застосування різних типів сонячних систем (рис 3).

Аналізуючи представлені результати моделювання можна зробити висновки зон ефективності

різних сонячних систем для потреб теплопостачання санаторного об'єкта.



**Рисунок 3** – Результати моделювання частки заміщення теплової енергії різними сонячними системами впродовж року для об'єкта санаторного типу на узбережжі Чорного моря.  
Місяці 1 – січень....12 – грудень

Для геліосистеми із використанням сонячних колекторів плоского типу найбільш ефективним є період з травня по серпень року, вказане пояснюється однаковими ККД колекторів, при цьому плоский колектор має більшу питому поверхню.

Для геліосистеми із використанням сонячних колекторів вакуумного типу найбільш ефективним є період демісезонної пори року та взимку (порівняно із плоским колекторами), вказане пояснюється відносно тепловими меншими втратами.

Для сонячних електростанцій (СЕС) є період взимку. Вказане пояснюється низькою ефективністю теплових систем за температурою теплоносія та більшим питомим ККД за рахунок більш низької температури навколишнього середовища.

## 6. Висновки

В роботі проведено аналіз існуючого стану застосування сонячних систем для потреб теплопо-



стачання споруд санаторного та рекреаційного призначення. Згідно поставленої задачі було проведено моделювання роботи різних типів сонячних систем для потреб теплопостачання, а також отримано частку заміщення теплової енергії вказаними системами.

Окрім вказаного було виявлені зони ефективного застосування різних типів сонячних систем для потреб теплопостачання.

Показано, що в літній період більш ефективно застосовувати геліосистеми із плоскими колекторами. У зимовий період більш доцільно використовувати сонячні електричні станції, які здатні покрити потреби аварійного електропостачання.

### Особистий внесок авторів CRediT

**Климчук О.А.:** аналіз математичної моделі роботи сонячних колекторів. **Лужанська Г.В.:** моделювання роботи геліосистем різних типів. **Жайворон О.С.:** моделювання роботи сонячної станції. **Грищенко С.І.:** аналіз літературних джерел. **Каверін А.Ю.:** аналіз результатів моделювання.

### Література

1. Denysova A., Nikulshin V., Wysochin V., Zhaivoron O., Solomentseva Y. Modelling the efficiency of power system with reserve capacity from variable renewable sources of energy // Herald of Advanced Information Technology. – 2021. – Vol. 4. – No. 4. – P.318-328. DOI: <https://doi.org/10.15276/hait.04.2021.3>
2. Денисова А.Є., Жайворон О.С. Підвищення ефективності теплонасосної утилізації циркуляційної води електростанцій // Вісник Національного Технічного Університету «ХПІ». Серія: Інноваційні дослідження у наукових роботах студентів. – 2023. – № 1 (1365). – С. 3-11. DOI: <https://doi.org/10.20998/2220-4784.2023.01.01>
3. A. Andryushchenko, V. Nikulshin, A. Denysova. Comparative analysis of different energy sources for heating system in Ukraine // Agricultural Research and Technology: Open Access Journal (ARTOAJ). – 2018. – No. 13 (4). – P. 1-2.
4. Mazurenko A., Denysova A. Perspektywy wykorzystania energii słonecznej na Ukrainie // Zeszyty Naukowe Wyższej Szkoły Inżynierskiej. Seria Elektryka z. 38, IV Konferencja remontowa energetyki «GRE'94». – Bielsko-Biala, Opole (Polska). – 1994. – No. 199. – P. 247-248.
5. International Energy Agency. World Energy Outlook 2012. URL: <http://www.worldenergyoutlook.org/publications/weo-2012/> (дата звернення 17.11.24).
6. А. Е. Денисова, Б. Х. Драганов, М. А. Сироватка, С. А. Герасимчук. Комплексна геліоакмуляційна і теплонасосна система теплопостачання в комунально-побутовому секторі // Відновлювана енергетика. Комплексні енергетичні системи на основі НВДЕ. – 2012. – № 2. – С. 16-18.
7. RETScreen Plus Expert "Renewable Energy Project Analysis Software, Energy Model and Solar Resource and Heating Load Calculation". URL: <https://www.edx.org/learn/business-administration/hec-montreal-energy-managementpowered-by-retscreen> (дата звернення 17.11.24).
8. Енергетична стратегія України на період до 2030 року, затверджена розпорядженням Кабінету Міністрів України від 24.07.2013. – № 1071. URL: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/n0002120-13>.
9. Енергетична стратегія України на період до 2050 року. URL: <https://minfin.com.ua/2023/05/02/105069123/> (дата звернення 17.11.24).
10. Горін А.Н., Дорошенко О.В. Сонячна енергетика. (Теорія, розробка, практика). – Донецьк: Норд-Прес, 2008. – 374 с.
11. Babaev E., Pozdniakova G. Analysis of the effectiveness of solar systems use in the university centralized heat supply systems // Proceedings of Odessa Polytechnic University. – 2023. – Vol. 2(68). – P. 64-71. DOI: <https://doi.org/10.15276/opu.2.68.2023.08>
12. Denysova A., Nikulshin V., Wysochin V., Zhaivoron O. S., Solomentseva Ya. V. Modelling the efficiency of power system with reserve capacity from variable renewable sources of energy // Herald of Advanced Information Technology. – 2021. – Vol. 4. – No. 4. – P.318-328 <https://doi.org/10.15276/hait.04.2021.3>
13. Denysova A., Mazurenko A. Prospects of use of the combined heat-supply systems at solar collectors // Zeszyty Naukowe Politechnika Opolska. Seria Elektryka, z. 51, N 280. – 2002. – Vol.1. – P. 141-150.
14. Ben Taher, M. A., Benseddik, Z., Afass, A., Smouh, S., Ahachad, M., Mahdaoui, M. Energy life cycle cost analysis of various solar water heating systems under Middle East and North Africa region // Case Studies in Thermal Engineering. – 2021. – Vol. 27. – P. 101262. doi: <https://doi.org/10.1016/j.csite.2021.101262>.
15. Mohammad A. T. Design and analysis of solar space heating system in Iraq // International Journal of Thermal & Environmental Engineering. – 2017. – Vol. 15 (1). – P. 51-56. doi: <https://doi.org/10.5383/>

ijtee.13.01.006.

16. Hashim, W. M., Shomran, A. T., Jurmut, H. A., Gaaz, T. S., Kadhum, A. A. H., Al-Amiery, A. A. Case study on solar water heating for flat plate col-

lector // Case Studies in Thermal Engineering. – 2018. – Vol. 12. – P. 666-671. doi: <https://doi.org/10.1016/j.csite.2018.09.002>.

Отримана в редакції 17.11.2024, прийнята до друку 28.11.2024

## Analysis of the effectiveness of sustanation of different types of sleeping systems for seasonal spords of sanatorium and recreational type

Oleksandr Klymchuk<sup>1✉</sup>, Ganna Luzhanska<sup>2</sup>, Oksana Zhaivoron<sup>3</sup>, Sergii Gryshchenko<sup>4</sup>, Andrii Kaverin<sup>5</sup>

<sup>1-5</sup>National University "Odesa Polytechnic", 1 Shevchenko Ave., Odesa, 65044, Ukraine

✉ e-mail: <sup>1</sup>klymchuk@op.edu.ua

ORCID: <sup>1</sup><http://orcid.org/0000-0002-5207-7259>; <sup>2</sup><https://orcid.org/0000-0002-3784-5926>; <sup>3</sup><https://orcid.org/0000-0001-6750-2388>; <sup>4</sup><https://orcid.org/0000-0002-0686-1149>; <sup>5</sup><https://orcid.org/0009-0002-6762-1808>

*The paper analyzes the current state of various types of solar systems for energy supply of seasonal sanatorium and recreational facilities. One of the main issues is the reliable provision of consumers with thermal energy throughout the year. The goal of decarbonization in the energy sector is to replace traditional fossil fuels with electricity produced using low-carbon resources. Solar power plants belong to the variable renewable energy sources, they are able to partially replace traditional means of energy production. The main goal of the study is to analyze the effectiveness of using various types of solar systems to replace thermal energy of sanatorium and recreational facilities, and to determine the share of replaced thermal energy when using different types of solar systems. Most modern methods for calculating solar systems are based on tabular values, and often solar collectors are not placed in specially equipped places and not at a precisely calibrated angle of inclination to the horizon, but directly on the roofs of buildings. The paper presents another approach that allows you to dynamically determine the amount of solar radiation that arrives at an arbitrarily oriented surface in space at any time for the desired region. Based on climatic data and the results of modeling the processes of energy generation from different systems (solar power plant, solar system based on vacuum collectors, solar system based on flat solar collectors), a study of the efficiency of using different types of solar systems was conducted. The comparison of energy production and its consumption was assessed, and the replacement of the share of thermal energy was determined. For a solar system using flat-type solar collectors, the most effective period is from May to August, while the flat-type collector has a larger specific surface; for a solar system using vacuum-type solar collectors, the most effective period is the demi-season and winter, which is explained by relatively lower thermal losses; for solar power plants, the winter period is characterized by low efficiency of thermal systems in terms of coolant temperature and higher specific efficiency due to lower ambient temperature.*

**Keywords:** Electrical energy; Thermal energy; Photovoltaic solar panels; Efficiency; Maximum power; Energy characteristics; Temperature regime of panels; Solar insolation

## References

1. Denysova A., Nikulshin V., Wysochin V., Zhaivoron O. S., Solomentseva Y.V. (2021) Modelling the efficiency of power system with reserve capacity from variable renewable sources of energy. *Herald of Advanced Information Technology*, 4, 4, 318-328.
2. Denysova, A.Ye., Zhayvoron, O.S. (2023) Increasing the efficiency of heat pump utilization of circulating water of power plants. *Bulletin of the National*

*Technical University "KhPI". Series: Innovative research in students' scientific works*, 1(1365), 3-11.

3. Andryushchenko, A., Nikulshin, V., Denysova, A. (2018) Comparative analysis of different energy sources for heating system in Ukraine. *Agricultural Research and Technology: Open Access Journal (ARTOAJ)*, 13 (4), 1-2.
4. Mazurenko, A., Denysova, A. (1994) Prospects for the use of solar energy in Ukraine. *Scientific Papers of the Higher School of Engineering. Electricity*

- Series 38, IV Power Engineering Repair Conference «GRE'94». Bielsko-Biala, Opole (Poland), 199, 247- 248.*
5. International Energy Agency. World Energy Outlook 2012. Retrived 17 November 2024 from <https://www.worldenergyoutlook.org/publications/weo-2012/>
  6. **Denysova, A.E., Drahanov, B.Kh., Syrovatka, M. A., Herasymchuk, S. A.** (2021) Integrated solar storage and heat pump heat supply system in the municipal sector. *Renewable energy. Integrated energy systems based on renewable energy sources*, 2, 16-18.
  7. RETScreen Plus Expert "Renewable Energy Project Analysis Software, Energy Model and Solar Resource and Heating Load Calculation". Retrived 17 November 2024 from <https://www.edx.org/learn/business-administration/hec-montreal-energy-managementpowered-by-retscreen>.
  8. Energy Strategy of Ukraine for the period until 2030, approved by the Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated July 24, 2013. No. 1071. Retrived 17 November 2024 from <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/n0002120-13>.
  9. Energy Strategy of Ukraine for the period until 2050. Retrived 17 November 2024 from <https://minfin.com.ua/2023/05/02/105069123/>.
  10. **Gorin, A.N., Doroshenko, O.V.** (2008) Solar energy. (Theory, development, practice). *Donetsk: Nord-Press*, 374.
  11. **Babaev, E., Pozdniakova, G.** (2023). Analysis of the effectiveness of solar systems use in the university centralized heat supply systems. *Proceedings of Odesa Polytechnic University*, 2(68), 64-71.
  12. **Denysova, A., Nikulshin, V., Wysochin, V. Zhai-voron O. S., Solomentseva Ya. V.** (2021) Modelling the efficiency of power system with reserve capacity from variable renewable sources of energy. *Herald of Advanced Information Technology*, 4, 4, 318-328.
  13. **Denysova, A., Mazurenko, A.** (2002) Prospects of use of the combined heat-supply systems at solar collectors. *Scientific Papers of the Opole University of Technology. Electricity Series*, 51, 280, 1, 141-150.
  14. **Ben Taher, M. A., Benseddik, Z., Afass, A., Smouh, S., Ahachad, M., Mahdaoui, M.** (2021). Energy life cycle cost analysis of various solar water heating systems under Middle East and North Africa region. *Case Studies in Thermal Engineering*, 27, 101262.
  15. **Mohammad, A. T.** (2017). Design and analysis of solar space heating system in Iraq. *International Journal of Thermal & Environmental Engineering*, 15 (1), 51-56.
  16. **Hashim, W. M., Shomran, A. T., Jurmut, H. A., Gaaz, T. S., Kadhum, A. A. H., Al-Amiery, A. A.** (2018). Case study on solar water heating for flat plate collector. *Case Studies in Thermal Engineering*, 12, 666-671.

Received 17 November 2024

Approved 28 November 2024

Available in Internet 30 December 2024