

<https://doi.org/10.31891/2307-5732-2026-363-10>

УДК 621.311:620.92

КАЧАН ЮРІЙ

Національний університет «Запорізька політехніка»

<https://orcid.org/0000-0001-9984-3646>

e-mail: kachan@zpu.edu.ua

ШРАМ ОЛЕКСАНДР

Національний університет «Запорізька політехніка»

<https://orcid.org/0000-0003-4206-7716>

e-mail: alexshrum@yahoo.com

ЩОДО МОЖЛИВОСТІ І ДОЦІЛЬНОСТІ СТВОРЕННЯ КОГЕНЕРАЦІЙНИХ ЕНЕРГОСИСТЕМ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ З СОНЯЧНОЮ ГЕНЕРАЦІЄЮ

Метою роботи є визначення можливості підвищення ефективності використання сонячної радіації шляхом створення когенераційних енергетичних систем, які одночасно виробляють електричну та теплову енергію.

Промислові підприємства постійно збільшують потужність власних джерел енергії для підвищення ефективності основного виробництва і зменшення споживання електроенергії з енергосистеми. Найчастіше для цього використовуються сонячні перетворювачі, які розташовуються на дахах їх споруд. Одним з недоліків щодо максимального використання потенціалу сонячного випромінювання є обмеження в наявній площі для розташування геліоколекторів. Використання геліосистем, які одночасно можуть виробляти електричну та теплову енергії, дозволить суттєво збільшити обсяги перетвореної сонячної радіації в умовах обмеженості необхідних для їх розташування площадок.

В роботі розглянута принципова схема запропонованої когенераційної геліосистеми та проведено її дослідження за показниками одного з промислових підприємств м. Запоріжжя. Визначено, що при використанні геліоколекторів з водяним охолодженням їх загальна електрична та теплова потужність буде майже в 4 рази більша, ніж при використанні звичайних сонячних панелей. Надлишковий обсяг теплоти системи охолодження таких геліоколекторів може бути використаних в системі тепlopостачання промислового підприємства за допомогою теплового насоса.

Ключові слова: когенераційна геліосистема, сонячна радіація, сонячна електростанція, теплова енергія, тепловий насос

KACHAN YURIY, SHRAM OLEKSANDR

National University Zaporizhzhia Polytechnic

ON THE POSSIBILITY AND FEASIBILITY OF CREATING COGENERATION ENERGY SYSTEMS FOR INDUSTRIAL ENTERPRISES WITH SOLAR POWER GENERATION

The purpose of this work is to determine the possibility of increasing the efficiency of solar radiation usage by creating cogeneration energy systems that simultaneously produce electrical and thermal energy.

Industrial enterprises are constantly increasing the capacity of their own energy sources to improve the efficiency of their main production and reduce electricity consumption from the power grid. Most often, solar converters located on the roofs of their buildings are used for this purpose. Today, considerable focus is placed on identifying potential locations for solar panels, assessing their energy capacity based on the size and intensity of solar radiation, and taking into account possible shading from neighboring buildings and other industrial structures, which significantly reduces the amount of solar radiation reaching the panels. One of the drawbacks to maximizing the potential of solar radiation is the limited space available for solar collectors. The use of solar systems that can simultaneously produce electrical and thermal energy will significantly increase the amount of converted solar radiation in conditions where the space required for their installation is limited.

The paper considers the schematic diagram of the proposed cogeneration solar system and studies it based on the indicators of one of the industrial enterprises in Zaporizhzhia. It has been determined that when using water-cooled solar collectors, their total electrical and thermal power will be almost 4 times greater than when using conventional solar panels. The excess heat from the cooling system of such solar collectors can be used in the heat supply system of an industrial enterprise with the help of a heat pump. As a result of the proposed combination of these technical components (water-cooled solar collectors and heat pumps), a new cogeneration solar system can be created for industrial enterprises with greater electrical power and an additional and sufficiently large volume of hot water.

Keywords: cogeneration solar system, solar radiation, solar power plant, thermal energy, heat pump.

Стаття надійшла до редакції / Received 15.01.2026

Прийнята до друку / Accepted 11.02.2026

Опубліковано / Published 26.03.2026



This is an Open Access article distributed under the terms of the [Creative Commons CC-BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

© Качан Юрій, Шрам Олександр

Постановка проблеми у загальному вигляді

та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

Як відомо, використання промисловими підприємствами власних джерел енергії на основі сонячної генерації задля підвищення енергоефективності їх основного виробництва є зараз важливим питанням. Вони мають для цього велику кількість споруд, на дахах яких можна розмістити сонячні перетворювачі, й генерувати додаткову електроенергію, зменшуючи споживання останньої з загальної електромережі.

Натепер питанням визначення місць можливого розташування сонячних панелей, оцінки їх енергетичної спроможності за розміром і інтенсивністю сонячного випромінювання, а також врахуванню можливого затінення генеруючих пристроїв навколишніми будівлями й іншими виробничими спорудами, що значно зменшує кількість сонячної радіації, яка надходить на конкретну площадку, приділяється науковою

спільнотою значна увага [1 – 3].

Аналіз досліджень та публікацій

Вирішення зазначених питань й отримання сукупності всіх прийнятних варіантів розташування обраних типів сонячних панелей на виділених для цього площадках [4] дає можливість розв'язати й основну оптимізаційну задачу щодо найкращого варіанту СЕС за обраним критерієм, наприклад, обсягом генерації нею електроенергії.

Основною проблемою промислових підприємств щодо використання сонячної радіації є те, що вони суттєво обмежені в наявній площі для розміщення геліоколекторів. Тож збільшити обсяги генерації СЕС вже фактично неможливо. А вони ж на багатьох підприємствах втрачаються ще й за рахунок того, що певна кількість виділених площадок використовується не для генерації електроенергії, а для розміщення теплових перетворювачів задля отримання необхідної підприємству теплової енергії. Тож для збільшення ефективності електростанцій, що розглядаються, необхідні вже нові інноваційні рішення.

Першою в зазначеному питанні є проблема неефективного перетворення певної енергії сонячного випромінювання, значна частина якої фактично втрачається. Це і спонукає дослідників щодо розробки більш передових технологій, основаних на одночасному застосуванні на конкретній площадці як електричних, так і теплових генеруючих пристроїв, зокрема і їх поєднання в одній когенераційній системі.

Очевидно, що таке поєднання дає можливість значно збільшити обсяги перетворення сонячної радіації в потрібні підприємству види енергії й суттєво покращити робочі характеристики використаних щодо цього технічних засобів. Створення ж когенераційних геліосистем, які можуть відрізнятися як за своєю структурою, так і застосуванням того чи іншого обладнання, а головне це ефективністю, має зараз переважне значення. Розглянемо одну з таких запропоновану нами когенераційну геліосистему, яка досліджена за показниками одного з підприємств м. Запоріжжя.

Як зазначалося раніше одним з можливих напрямків підвищення енергоефективності СЕС є використання більш потужних геліоперетворювачів. Але враховуючи те, що вони швидко перегріваються і втрачають при цьому свою ефективність (зменшується обсяг їх генерації) на них застосовують промислове водяне охолодження. Зараз такі перетворювачі є на відповідному ринку електрообладнання [5 – 7], технічні характеристики деяких з них наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Технічні характеристики електричних геліоколекторів з водяним охолодженням

| Виробник та Модель | DualSun Spring 2.0 (Франція) | SunPower Performance Plus (США) | Solimpeks Volther Hybrid (Туреччина) | Naked Energy Virtu PVT (Великобританія) | SunMaster PV-T Alloy (Китай) |
|---|------------------------------|---------------------------------|--------------------------------------|---|------------------------------|
| Електрична потужність (P _{max}) | 425 Вт | 420 - 440 Вт | 430 Вт | 160 Вт | 400 Вт |
| Електричний ККД | 20.3% | 22.3% | ~20.5% | ~18.5% | ~19.8% |
| Теплова потужність* | ~900 Вт | Не вказана (тепловий відвід) | ~850 Вт | ~700 Вт | ~750 Вт |
| Тепловий ККД* | ~60% | Не вказаний | ~65% | ~58% | ~55% |
| Загальний ККД | >80% | - | >80% | >75% | >75% |
| Розміри (Д x Ш x Т, мм) | 1722x1134x79 | 1690x1046x65 | 1800x1100x85 | 2000 x 1160 (трубка) | 1650x1000x40 |
| Вага (кг) | 26.5 кг | 21.5 кг | 45 кг | 35 кг | 28 кг |
| Орієнтовна вартість панелі (USD) | \$900 - \$1,200 | \$950 - \$1,150 | \$700 - \$950 | \$800 - \$1,100 | \$500 - \$750 |
| Гарантія (Електрика / Тепло) | 25 років / 10 років | 25 років / - | 12 років / 5 років | 10 років / 10 років | 10-12 років / 5 років |

Формулювання цілей статті

Метою роботи є: визначення можливості підвищення ефективності використання сонячної радіації шляхом створення когенераційних енергетичних систем, які одночасно виробляють електричну та теплову енергію.

Виклад основного матеріалу

Об'єднавши системи охолодження кожного з таких перетворювачів, розташованих на виділеній для них площадці підприємства можна отримати більш потужну й надійну геліосистему без ефекту перегріву, по якій циркулюватиме достатньо велика кількість води зі стабільною, та вже ж значно більшою, ніж навколишнє

середовище, температурою. Очевидно, що в такій системі охолодження надлишки теплоти, що буде утворюватися, необхідно буде якимось чином відбирати.

Якщо ж зазначений, достатньо великий за обсягом потік теплої води використати у первинному контурі відповідно підбраного за технічними характеристиками теплового насосу типу "вода - вода", то у його вторинному контурі можна отримати, звісно, менший, але ж значно більшої температури, потік теплоносія, що і міститиме згаданий надлишковий обсяг теплоти в системі охолодження. Її й пропонується використати на потреби промислового підприємства.

При цьому не будуть задіяні так потрібні для розміщення елементів СЕС і надто дефіцитні для підприємства площадки, задля необхідної для цього кількості теплових геліоколекторів.

Загальна принципова схема такої когенераційної геліосистеми наведена на рис. 1.

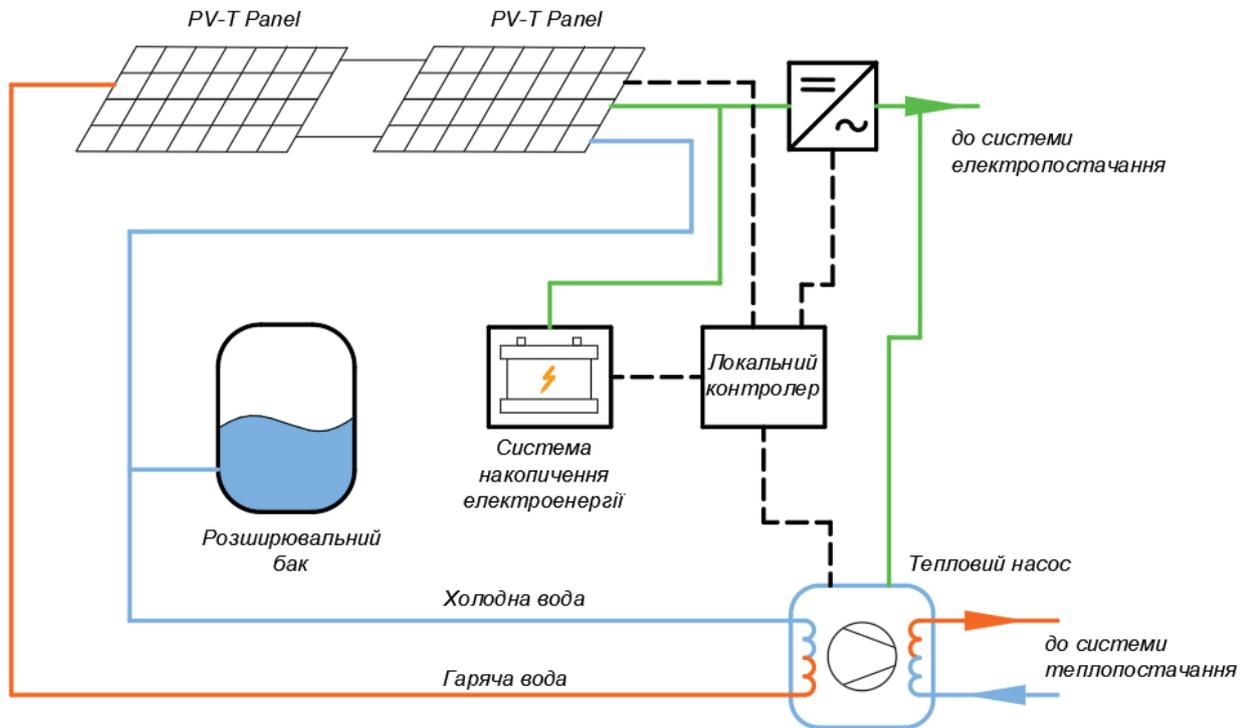


Рис. 1. Принципова схема запропонованої когенераційної геліосистеми

Тож порівняємо енергоефективність такої системи на прикладі її можливого використання на одній з реальних площадок зазначеного щойно підприємства у м Запоріжжя. Для цього використаємо виділену горизонтальну площадку розміром 85x54 м, на якій розташовані 1000 штук геліоперетворювачів типу HCP72X9-355W (DAN Solar, Китай). Вони забезпечують натеper сумарну електричну потужність 350 кВт.

При підключенні геліоколекторів з водяним охолодженням потрібно враховувати додаткову площу, необхідну для з'єднання системи циркуляції води, яка включає трубопроводи, теплообмінники, циркуляційні насоси тощо. Тож, якщо розташувати на зазначеній площадці 900 штук геліоколекторів з водяним охолодженням типу DualSun Spring 4.0 (Франція), необхідні технічні характеристики яких наведені в таблиці 1, то їх електрична потужність складе вже 382,5 кВт, що буде на 9,3% більше, ніж у попередньому випадку. При цьому теплова потужність такої кількості геліоколекторів становитиме 810 кВт, а в їх системі охолодження буде циркулювати потік води з надлишком теплоти у 1296 МДж, який потрібно відібрати. У когенераційній системі, що нами розглядається, і пропонується використати задля цього тепловий насос, наприклад, типу Carrier AquaForce 30XWHV, технічні характеристики якого наведені в таблиці 2.

Враховуючи обсяг води, яка циркулює в системі охолодження, необхідно встановити зазначений вище тепловий насос. Така система повністю відповідає за обсягом згенерованої у вторинному контурі теплоти її зазначеному вище надлишку в системі охолодження геліоколекторів.

Щоб отримати таку ж кількість теплоти на потреби підприємства необхідно використати 1000 таких сонячних колекторів, наприклад, типу Vaillant auroTherm exclusive VTK 570/2 й зайняти для цього одну з наявних для розміщення СЕС площадок, зменшуючи, таким чином, енергоефективність останньої.

Синтезувати математичні моделі для розрахунку потрібних параметрів таких систем можна за допомогою методів розглянутих в роботах [8 – 10]. Ці моделі враховують фізику електричних та теплових процесів і дозволить не тільки обрати необхідні технічні параметри обладнання, а й провести моделювання та дослідження режимів роботи такої енергетичної системи в різних умовах, наприклад при зміні сонячної інсоляції та температури навколишнього середовища. Ці питання потребують додаткових досліджень і більш детально будуть розглянуті в подальших роботах.

Технічні характеристики теплових насосів

| Модель | Продуктивність, кВт | | Потужність, що споживається, кВт | | Коефіцієнт ефективності COP | Циркуляційний об'єм води, м.куб/год | Діапазон температури гарячої води, °С |
|------------------------------------|---------------------|-------|----------------------------------|-------|-----------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|
| | Холод | Тепло | Холод | Тепло | | | |
| CH-HP77UIMNM | 77 | 69 | 25,16 | 24,73 | 3,06 | 11,7 | 35 — 50 |
| Carrier AquaForce 30XWHV | 587 | 649 | 130 | 140 | 4,5 | 90 | 25 – 65 |
| Viessmann Vitocal 350-G Pro WW 401 | 165 | 180 | 36 | 38 | 4,7 | 32 | 30 – 70 |
| Trane CXWF 125 | 111,3 | 123,5 | 22,3 | 27,4 | 4,5 | 75 | 20 – 65 |

Висновки з даного дослідження

і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

1. Підвищити енергоефективність СЕС промислових підприємств, які створюються в умовах суттєвої обмеженості щодо необхідних для цього площадок, можливо завдяки використанню більш потужних геліоколекторів з водяним охолодженням.

2. Обсяг надлишкової теплоти в потоці охолоджуючої води зазначених перетворювачів сонячного випромінювання в електричну енергію фактично відповідає тому, що може бути отримано від розміщення на такій же за розміром площадці як і для зазначених перетворювачів теплових колекторів.

3. Використати надлишковий обсяг теплоти з системи охолодження більш потужних електричних геліоколекторів, що будуть задіяні в СЕС промислового підприємства для потреб останнього можна за допомогою відповідно підбраного за технічними характеристиками теплового насоса.

4. В результаті запропонованої комбінації зазначених технічних засобів (геліоколекторів з водяним охолодженням і теплових насосів) може бути отримана нова когенераційна геліосистема промислового підприємства більшої електричної потужності з додатковим і досить великим обсягом гарячої води.

Література

1. The effect of shading on photovoltaic solar panels / J. P. N. Torres et al. *Energy Systems*. 2016. Vol. 9, no. 1. P. 195–208. URL: <https://doi.org/10.1007/s12667-016-0225-5>.
2. Shading effect on the performance of a photovoltaic panel / G. Abdelaziz et al. *2021 IEEE 2nd International Conference on Signal, Control and Communication (SCC)*, Tunis, Tunisia, 20–22 December 2021. 2021. URL: <https://doi.org/10.1109/scc53769.2021.9768356>.
3. Ричка Р. Ю. Оптимізація розташування сонячних панелей для досягнення максимальної виробничої потужності. *Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля*. 2024. № 1 (281). С. 76–84. URL: <https://doi.org/10.33216/1998-7927-2024-281-1-76-84>.
4. Качан Ю. Г., Шрам О. А. Щодо можливості створення ефективних сонячних електростанцій на території промислових підприємств. *Відновлювана енергетика*. 2024. № 1(76). С. 22–31. URL: [https://doi.org/10.36296/1819-8058.2024.1\(76\).22-31](https://doi.org/10.36296/1819-8058.2024.1(76).22-31).
5. Advancing photovoltaic thermal (PV/T) systems: Innovative cooling technique, thermal management, and future prospects / H. Togun et al. *Solar Energy*. 2025. Vol. 291. P. 113402. URL: <https://doi.org/10.1016/j.solener.2025.113402>.
6. Solar photovoltaic/thermal(PV/T)systems with/without phase change materials (PCMs): A review / S. Ying et al. *Journal of Energy Storage*. 2024. Vol. 89. P. 111582. URL: <https://doi.org/10.1016/j.est.2024.111582>.
7. Comparison of PV and PV/T systems in different regions of China: energy gain, energy cost, energy payback and energy return / T. Zhang et al. *Energy and Built Environment*. 2024. URL: <https://doi.org/10.1016/j.enbenv.2024.12.001>.
8. Dynamic Modeling and Experimental Validation of the Photovoltaic/Thermal System / K. Sredenšek et al. *Applied Sciences*. 2025. Vol. 15, no. 19. P. 10505. URL: <https://doi.org/10.3390/app151910505>.
9. Sakellariou E., Axaopoulos P. Simulation and experimental performance analysis of a modified PV panel to a PVT collector. *Solar Energy*. 2017. Vol. 155. P. 715–726. URL: <https://doi.org/10.1016/j.solener.2017.06.067>.
10. Development of a novel thermal model for a PV/T collector and its experimental analysis / D. Das et al. *Solar Energy*. 2019. Vol. 188. P. 631–643. URL: <https://doi.org/10.1016/j.solener.2019.06.005>.

References

1. The effect of shading on photovoltaic solar panels / J. P. N. Torres et al. *Energy Systems*. 2016. Vol. 9, no. 1. P. 195–208. URL: <https://doi.org/10.1007/s12667-016-0225-5>.
2. Shading effect on the performance of a photovoltaic panel / G. Abdelaziz et al. *2021 IEEE 2nd International Conference on Signal, Control and Communication (SCC)*, Tunis, Tunisia, 20–22 December 2021. 2021. URL: <https://doi.org/10.1109/scc53769.2021.9768356>.

- Control and Communication (SCC)*, Tunis, Tunisia, 20–22 December 2021. 2021. URL: <https://doi.org/10.1109/scc53769.2021.9768356>.
3. Rychka R. Yu. Optyimizatsiia roztashuvannia soniachnykh panelei dlia dosiahnennia maksimalnoi vyrobnychoi potuzhnosti. *Visnik of the Volodymyr Dahl East Ukrainian National University*. 2024. № 1 (281). С. 76–84. URL: <https://doi.org/10.33216/1998-7927-2024-281-1-76-84>.
4. Kachan Yu. H., Shram O. A. Shchodo mozhyvosti stvorennia efektyvnykh soniachnykh elektrostantsii na terytorii promyslovykh pidpriemstv. *Vidnovlyvana energetika*. 2024. № 1(76). С. 22–31. URL: [https://doi.org/10.36296/1819-8058.2024.1\(76\).22-31](https://doi.org/10.36296/1819-8058.2024.1(76).22-31).
5. Advancing photovoltaic thermal (PV/T) systems: Innovative cooling technique, thermal management, and future prospects / H. Togun et al. *Solar Energy*. 2025. Vol. 291. P. 113402. URL: <https://doi.org/10.1016/j.solener.2025.113402>.
6. Solar photovoltaic/thermal(PV/T)systems with/without phase change materials (PCMs): A review / S. Ying et al. *Journal of Energy Storage*. 2024. Vol. 89. P. 111582. URL: <https://doi.org/10.1016/j.est.2024.111582>.
7. Comparison of PV and PV/T systems in different regions of China: energy gain, energy cost, energy payback and energy return / T. Zhang et al. *Energy and Built Environment*. 2024. URL: <https://doi.org/10.1016/j.enbenv.2024.12.001>.
8. Dynamic Modeling and Experimental Validation of the Photovoltaic/Thermal System / K. Sredenšek et al. *Applied Sciences*. 2025. Vol. 15, no. 19. P. 10505. URL: <https://doi.org/10.3390/app151910505>.
9. Sakellariou E., Axaopoulos P. Simulation and experimental performance analysis of a modified PV panel to a PVT collector. *Solar Energy*. 2017. Vol. 155. P. 715–726. URL: <https://doi.org/10.1016/j.solener.2017.06.067>.
10. Development of a novel thermal model for a PV/T collector and its experimental analysis / D. Das et al. *Solar Energy*. 2019. Vol. 188. P. 631–643. URL: <https://doi.org/10.1016/j.solener.2019.06.005>.