

## Підвищення ККД сонячних колекторів

Денис Юзьков, студент<sup>1</sup> (ORCID: 0009-0001-2857-7325)

<sup>1</sup> Київський національний університет будівництва і архітектури, Україна

### АНОТАЦІЯ

У роботі досліджено ефективність використання сонячних колекторів як джерела теплоти в комбінованих системах тепlopостачання. Розглянуто вплив географічного розташування, погодних умов, сезонних коливань інсоляції та конструктивних особливостей колекторів (плоских і вакуумних) на їх продуктивність. Проаналізовано явище стагнації, роль баків-акумуляторів у стабілізації системи, а також технічні рішення для підвищення коефіцієнта корисної дії (ККД), зокрема застосування нанорідин, автоматичне регулювання кута нахилу та вдосконалена теплоізоляція. Особливу увагу приділено високотемпературним органічним теплоносіям (ВОТ), які дозволяють ефективно працювати в умовах високої температури без надлишкового тиску. Отримані результати можуть бути використані при проектуванні надійних і енергоефективних систем відновлюваного тепlopостачання.

*Ключові слова:* тепlopостачання, джерело теплоти, плоский сонячний колектор, вакуумний сонячний колектор, відновлювальні джерела теплоти, ККД.

### 1. ВСТУП

Сонячні колектори відіграють важливу роль у розвитку комбінованих систем тепlopостачання [1], особливо в контексті переходу до відновлюваних джерел енергії. Їх ефективність значною мірою залежить від географічного розташування, оскільки рівень сонячної інсоляції варіюється в залежності від регіону.

Однак така сезонна залежність породжує низку технічних особливостей. Зокрема, у періоди низького споживання тепла можливе накопичення надлишкової енергії з подальшим її використанням у години пікового навантаження. Для забезпечення стабільної роботи системи необхідно передбачити резервне джерело тепла, оскільки рівень інсоляції може бути недостатнім через погодні умови або несприятливий кут падіння сонячних променів на поверхню колектора. Навіть у літній період ефективність роботи може знижуватись через хмарність, туман або дощ.

Крім того, на продуктивність колектора впливають зовнішні чинники, такі як запиленість або забруднення світлопрозорої поверхні, а також швидкість вітру, яка може змінювати тепловий баланс системи. У межах цієї роботи було розглянуто два типи сонячних колекторів — плоский та вакуумний.

Вакуумний колектор складається з ряду скляних трубок, всередині яких створено вакуум. У центрі трубки розміщується теплоприймаюча пластина, по якій циркулює теплоносієй — це може бути як вода, так і спеціальні нанорідини. Завдяки вакууму змінюється температура кипіння, що сприяє інтенсивному пароутворенню та виділенню прихованої теплоти, яка ефективно передається теплоносію.

Плоскі колектори мають іншу конструкцію: під світлопрозорим покриттям розміщені трубки, через які проходить теплоносієй. Їх розташування може бути спірально-лінійним або комбінованим [2].

При надмірній сонячній інсоляції, може виникнути таке явище як стагнація — перегрів теплоносія. Рідина випаровується, утворюючи пару, що підвищує тиск у системі. Це може призвести до спрацювання запобіжних клапанів, втрати теплоносія або пошкодження обладнання.

Явище характерне для періодів низької теплової потреби, наприклад, улітку.

Бакі-акумулятори в системах сонячних колекторів відіграють важливу роль у забезпеченні стабільної роботи та захисту від перегріву. Вони накопичують надлишкову теплову енергію, вироблену колекторами в періоди інтенсивної інсоляції, і дозволяють використовувати її пізніше — уночі, в похмурі дні або при піковому споживанні. Це особливо актуально для запобігання стагнації, коли теплоносієй перегрівается через низьке теплове навантаження або зупинку циркуляції. Баки можуть бути оснащені внутрішніми або зовнішніми теплообмінниками. Їхній об'єм визначається потужністю колекторів, кліматичними умовами та режимом споживання. Використання теплоакумуляторів підвищує ефективність системи, забезпечує безперервне тепlopостачання та зменшує потребу в додаткових джерелах енергії.

### 2. МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ ККД

Для забезпечення максимальної продуктивності сонячних колекторів у комбінованих системах тепlopостачання застосовуються різноманітні технічні та інженерні рішення, спрямовані на підвищення їх коефіцієнта корисної дії (ККД). Одним із перспективних напрямів є використання нанорідин — спеціальних теплоносієй, що містять дисперсні частинки хімічних елементів з високим термогенеруючим потенціалом. Завдяки покращеним теплофізичним властивостям, такі рідини здатні ефективніше передавати тепло, що особливо актуально для вакуумних колекторів.

Ще одним важливим фактором є оптимізація кута нахилу колектора відносно сонця. Використання датчиків положення дозволяє автоматично регулювати орієнтацію поверхні, забезпечуючи перпендикулярне падіння сонячних променів, що значно підвищує термогенеруючу здатність системи.

Теплоізоляція конструктивних елементів колектора також відіграє ключову роль. У плоских моделях передбачено спеціальний теплоізоляційний шар, який мінімізує втрати тепла через теплові містки. Крім того,

застосування матеріалів з високою світлопроникністю для зовнішнього покриття дозволяє збільшити кількість енергії, що надходить до теплоносія.

Високотемпературні органічні теплоносії (ВОТ) — це спеціальні рідини, які застосовуються в системах теплопередачі при температурах, що перевищують можливості води або пари. Вони забезпечують стабільну роботу в діапазоні 150–300 °С, зберігаючи низький тиск у системі та хімічну стабільність. ВОТ виготовляються на основі синтетичних ароматичних сполук, силіконів або мінеральних масел. Їхні переваги включають високу термічну стійкість, низьку в'язкість, високу теплопровідність і тривалий термін служби. Завдяки цим властивостям органічні теплоносії широко використовуються в промислових сонячних теплостанціях.

У системах з високотемпературними органічними теплоносіями (ВОТ) тиск змінюється переважно внаслідок теплового розширення рідини, а не через утворення пари, як у водяних системах. Завдяки низькому тиску насиченої пари навіть при температурах 150–300 °С, ВОТ дозволяє працювати в умовах високої температури без надлишкового тиску. При нагріванні об'єм теплоносія збільшується, що спричиняє поступове підвищення тиску в замкненому контурі. У правильно спроектованій системі тиск змінюється плавно, залишаючись у межах допустимих значень, що забезпечує надійну та довготривалу експлуатацію обладнання.

У системах з високотемпературними органічними теплоносіями (ВОТ) тиск є важливим регулюючим параметром, який безпосередньо впливає на фізичні властивості теплоносія, зокрема на температуру його пароутворення. Залежно від ситуації — наприклад, коли генерація тепла перевищує поточну потребу споживача — зміна тиску в системі дозволяє гнучко керувати тепловим режимом.

На рисунку 1 видно, що в окремі періоди доби або сезону потреба в гарячому теплоносії є нижчою, ніж обсяг тепла, який виробляється сонячними колекторами. У таких умовах виникає ризик перегріву системи або стагнації. Саме високотемпературні органічні теплоносії (ВОТ) для сонячних колекторів здатні ефективно вирішити проблему перегріву системи. Завдяки своїм термостійким властивостям, вони зберігають стабільність при високих температурах, що виникають у колекторах під час інтенсивного сонячного випромінювання. Це дозволяє уникнути кипіння, розкладу або втрати ефективності теплоносія, забезпечуючи надійну та безпечну роботу сонячної установки навіть у спекотні дні [3].

Правильно спроектована система сонячних колекторів із використанням високотемпературних органічних теплоносіїв (ВОТ) значно перевершує традиційні рішення, оскільки позбавлена багатьох їхніх недоліків. Завдяки високій термічній стабільності ВОТ, система ефективно працює при високих температурах, не перегрівается і не потребує складних захисних механізмів. Низький тиск пари дозволяє зменшити ризик аварій, а антикорозійні властивості теплоносія забезпечують довговічність обладнання. Такі системи не потребують частого обслуговування, краще адаптуються до змін клімату, мають вищу енергоефективність і дозволяють реалізовувати більш гнучкі та компактні інженерні рішення. У результаті, ВОТ-системи забезпечують стабільну, безпечну та економічно вигідну експлуатацію сонячної енергетики [4].

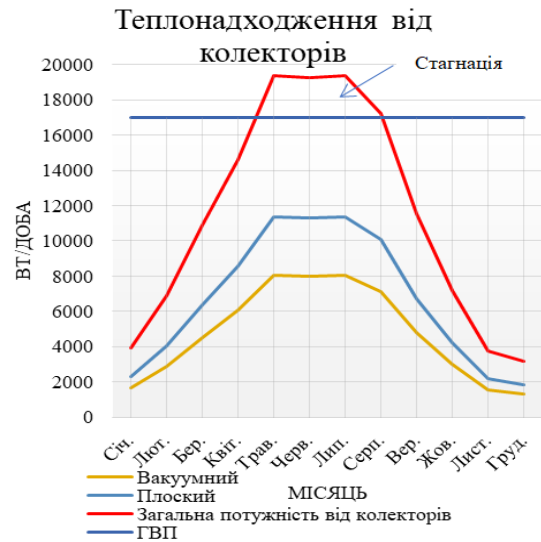


Рисунок 1. Помісячне теплонадходження від сонячних колекторів

### 3. ВИСНОВКИ

Сонячні колектори — джерело теплоти, ефективність яких залежить від погодних умов, конструкції та типу теплоносія. Для стабільної роботи важливо враховувати сезонні коливання, стагнацію, а також застосовувати баки-акумулятори та методи підвищення ККД, зокрема нанорідини й автоматичне регулювання орієнтації. Високотемпературні органічні теплоносії забезпечують ефективну теплопередачу при температурах до 300 °С. Їхня стабільність, низька в'язкість і можливість регулювання температури пароутворення через зміну тиску роблять ВОТ оптимальним вибором для промислових сонячних систем, особливо в умовах змінного теплового навантаження.

### Список літератури

- [1] Єнін П.М., Швачко Н.А. Є 63 Теплопостачання (частина I "Теплові мережі та споруди"). Навчальний посібник. — Київ, Кондор, 2007, 244 с.
- [2] Shivanayak, L., Subramanya, G. S., Srikantamurthy, J. S., Naik, R. T., Prasad, C. D., & Hailu, N. (2025). Evaluation of a solar flat plate collector's performance using wavy riser tubes and coil inserts. *Results in Engineering*, 20, 101060.
- [3] ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010. Захист від небезпечних геологічних процесів, шкідливих експлуатаційних впливів, від пожежі. Будівельна кліматологія [Чинний від 01.11.2011]. — Київ, Мінрегіонбуд України, 2011. 127 с. — (Національний стандарт України)
- [4] Alsharifi, T., Mahdi, J. M., Togun, H., Al-Najjar, H. M. T., Ben Khedher, N., Cairns, A., & Talebizadehsardari, P. (2024). Design and optimization of a household photovoltaic/thermal collector with serpentine tube: Energy and exergy analysis. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 222, 125186.

<sup>i</sup> Робота виконана під керівництвом доц. Павла Гламаздіна