

ХОЛОДИЛЬНА ТЕХНІКА ТА ЕНЕРГОТЕХНОЛОГІЇ

УДК 536.248.2:532.529.5

Розвиток та перспективи впровадження багатофункціональних сонячних систем

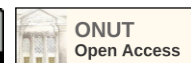
Б. В. Косой¹, **Л. З. Бошков²**, **В. Ф. Халак³**¹⁻³Одеський національний технологічний університет, вул. Канатна, 112, Одеса, 65039, Україна✉ e-mail: ¹bkosoy@yahoo.comORCID: ¹<http://orcid.org/0000-0001-5353-8881>; ²<http://orcid.org/0000-0002-2196-1519>;³<http://orcid.org/0000-0003-2046-4139>

Розробка багатофункціональних сонячних систем, до яких відносяться безпосередньо PV/T системи та системи тепло- холодопостачання і кондиціювання повітря, їх впровадження в вітчизняне виробництво буде сприяти зменшенню залежності нашої країни від невідновлюваних паливно-енергетичних ресурсів, створенню нових виробництв та робочих місць. Розглядається стан розробок сонячних полігенераційних PV/T систем, можливість поширення в житловому секторі та готовність власників комунальних домогосподарств до модернізації систем опалення та електропостачання. Відзначається, що полігенерація електроенергії, холоду та теплоти, забезпечуючи повну автономність сонячних систем, здатна вирішувати основні завдання життєзабезпечення: гарячого водопостачання, охолодження середовищ та кондиціювання, а також осушення повітря для застосування у різних технологічних процесах виробництва. Наведені дані щодо перспектив сумісного використання сонячних повітряних колекторів з системами опалення та вентиляції. Розглядається сучасний стан практичного застосування PV/T-колекторів. Відзначаються причини, що заважають швидкому поширенню PV/T систем та порівнюється ефективність колекторів різного конструктивного виконання. Представлені конструктивні та функціональні особливості роботи когенераційної сонячної електротеплової станції та оцінка її ефективності відносно економії невідновлювальних джерел. Наведена оцінка ринкового потенціалу колекторів PV/T. Наголошується, що, оскільки споживачі використовують найбільшу кількість енергії для опалення, сонячний колектор PV/T є альтернативною перспективною системою для низькоенергетичних застосувань у житлових, промислових та комерційних будівлях. Представлено концепцію створення нового покоління багатофункціональних геліосистем на основі тепловикористовувального абсорбційного циклу відкритого типу.

Ключові слова: Сонячні когенераційні системи; Вироблення електроенергії; Повітряні колектори; Енергоспоживання; Ефективність

doi: <https://doi.org/10.15673/ret.v59i2.2629>

© The Author(s) 2023. 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

Одним із пріоритетних напрямів розвитку альтернативної енергетики України є використання сонячного потенціалу. Наразі розвиток вітчизняної сонячної енергетики йде в таких напрямках: ство-

рення сонячних когенераційних систем, систем перетворення сонячної енергії в теплову енергію в системах гарячого водопостачання та опалення, створення на основі сонячної енергії комбінованих систем тепло- та холодопостачання, раціональна інтеграція можливостей традиційної та альтерна-

тивної енергетики, та створення на основі сонячної енергії систем охолодження і кондиціонування повітря. Сонячні когенераційні системи, або фотогальванічні теплові колектори, зазвичай скорочено PV/T-колектори, і також відомі як гібридні сонячні колектори, є системами, які перетворюють сонячне випромінювання в придатну для використання теплову та електричну енергію. PV/T-колектори об'єднують фотоелектричні сонячні елементи, які перетворюють потік світла в електрику за допомогою сонячного теплового колектора, який передає відпрацьовану теплоту від фотоелектричного модуля до теплоносія. Комбінуючи виробництво електроенергії та теплоти в одному компоненті, ці технології можуть досягти більш високого загального ККД, ніж сонячні фотоелектричні (PV) або сонячні теплові (T). Полігенерація електроенергії, холоду та теплоти, забезпечуючи повну автономність сонячних систем, вирішує основні завдання життєзабезпечення: гарячого водопостачання, охолодження середовищ та кондиціонування повітря, а також осушення повітря для застосування у різних технологічних процесах виробництва [1]. Охолодження фотоелектричних модулів запобігає падінню ККД перетворення сонячної енергії на електричну, пов'язану з розігрівом фотоелементів: за даними робіт [2, 3], це зниження в середньому становить 0,4 % на один градус перегріву. Для одночасного вироблення електроенергії, теплоти (гаряче водопостачання), холоду (випарювальні охолоджувачі газів та рідин), осушення повітря, існують важливі схемні рішення когенераційних сонячних систем, представлені авторами [1, 4]. Включення в системи фотоелектричних модулів, що розробляються, забезпечує електроживлення вентиляторів і рідинних насосів, істотно підвищуючи автономність сонячних систем. Отримують розвиток мікрогенераційні та гібридні енергетичні системи на основі відновлюваних джерел енергії [5]. Надалі планується вивчення поєднання плоских пластинчастих PV/T-колекторів із мікро-ТЕЦ Стірлінга, що працює на біомасі, що вигідно з енергетичної, ексергетичної та економічної точок зору. Як наступний крок передбачається вивчення системи мікро-ТЕЦ на базі органічного циклу Ренкіна (ORC), що працює на сонячній енергії та біомасі, в будівельному секторі [6], проведення експериментальних випробувань низькотемпературного двигуна з ORC у поєднанні з концентруючими фотоелектричними/тепловими колекторами – лабораторні та польові випробування представлені

в [7]. За рахунок утилізації майже 70% падаючої сонячної енергії когенераційні сонячні електротеплові станції мають високу економічну ефективність і мають серед усіх сонячних станцій найвищий у світі показник зниження викидів вуглекислого газу. Завданням даної роботи є оцінка ефективності практичного використання існуючих багатофункціональних сонячних систем та можливості їх раціонального застосування у житловому секторі.

2. Сонячні повітряні колектори (СПК)

У базовій конструкції з повітряним охолодженням використовується порожнистий корпус для монтажу фотоелектричних панелей або регульований потік повітря до задньої сторони фотоелектричної панелі. Колектори PV/T втягують свіже зовнішнє повітря або використовують повітря у якості циркулюючого теплоносія у замкнутому контурі [8]. Показаний на рис. 1 саморобний пристрій [9] потенційно може виробити до 2 МВт·год теплоти на рік, що чимало – це демонструє ринковий потенціал PV/T-колекторів. У [9] проведено оцінку можливості заощадження теплоти шляхом застосування СПК. Для цього кількість теплоти від сонячного випромінювання, що падає на землю, на широті Києва ($\sim 1384,05$ кВт·год/м²/рік), помножимо на ККД сонячного колектора $\sim 65-70$ %. В результаті отримаємо вироблення теплоти одним квадратним метром сонячного колектора близько 900 кВт·год.



Рисунок 1 – Саморобний підвіконний СПК [9]

Надходження сонячного тепла протягом року нерівномірне. На широті Києва взимку надходить 14%, навесні – 29%, влітку – 36%, а восени – 21% від усієї річної кількості сонячної радіації. У січні-

лютому ця цифра знижується до 3% від річного сумарного значення, і з 1 м² СПК за цей час вдається зібрати близько 30 кВт·год теплової енергії, [9]. Тим не менш, СПК чудово працюють саме у холодному кліматі. Особливо коли погода є нестійкою і можливе несподіване зниження температури або заморозки. СПК з'явилися і почали активно застосовуватися відносно нещодавно, набагато пізніше, ніж, наприклад, фотовольтаїчні та рідинні фототермальні колектори. Дослідження, проведені у США та Канаді, показали, що фасадні та модульні системи СПК зменшують енергоспоживання будівлі приблизно на 10–50 % від звичайного теплового навантаження на опалення взимку та охолодження влітку. Спільне використання СПК з системами опалення, вентиляції та кліматизації, а також як зовнішній захисний щит будівлі, досить перспективне. На рис. 2 представлена схема когенераційної СПК у комбінації з PV-модулем, рекуператором теплоти повітря, теплообмінником для ГВП.

На рис. 3 представлений вид когенераційної



Рисунок 3 – Сонячні когенераційні установки [11]

Основою сонячної електротеплової станції (СЕТС) є когенераційна сонячна енергетична установка (КСЕУ), що виробляє одночасно електричну та теплову енергію. Сонячні модулі опромінюються та охолоджуються однаково з двох сторін. Система стеження за сонцем базується на надійному в експлуатації лінійному актуаторі.

Лінійні актуатори, або лінійні приводи, це необхідні для виготовлення сонячних когенераційних установок даного типу електромеханічні пристрої, які перетворюють електричну енергію в енергію руху. Найпоширеніші лінійні приводи зазвичай мають напругу 24 В, що дає оптимальний рівень падіння напруги та рівень безпеки. Ко-

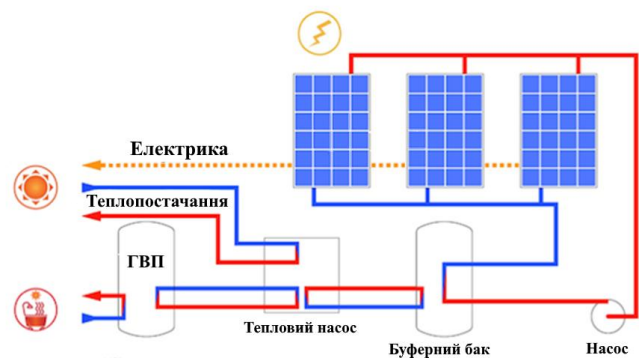
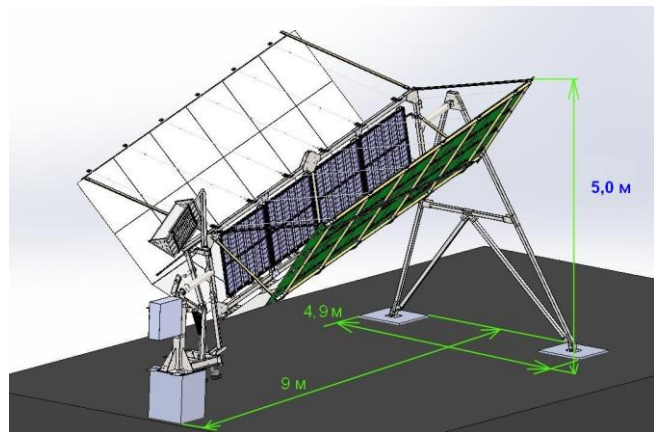


Рисунок 2 – Когенераційна СПК у комбінації з PV/T-модулем, рекуператором теплоти повітря, теплообмінником для ГВП [10]

сонячної електротеплової станції, яка успішно випробовується за підтримки фонду Solar Impulse, Швейцарія. Утилізація теплоти установкою, що пропонується у проекті, за розрахунками експертів швейцарської компанії Solar Impulse Foundation економить залежно від регіону розміщення від 1270 до 1900 кг газойлю на рік, що знижує щорічні викиди CO² від 4 до 6 тонн на рік.



лектори розміщуються на поверхні землі та плоских дахах, в даний час виготовлений та випробуваний дослідний зразок.

3. Сучасний стан застосування PV/T-колекторів

У звіті «Solar Heat Worldwide» надано оцінку світового ринку PV/T-колекторів у 2019 році [12]. За даними авторів загальна площа встановлених колекторів складала 1,16 мільйона квадратних метрів.

На даний час голландська компанія Triple Solar представила нову серію сонячних теплоелек-

тричних модулів (PV/T). Пристрої цього типу, які також називаються гібридними, поєднують функції фотопанелей та сонячних колекторів. Тобто вони не тільки генерують електрику, а й акумулюють теплоту, що зазвичай за допомогою теплових насосів передається до системи опалення чи гарячого водопостачання будинку.

Пристрій розміщується на дахах будівель, паливна система яких оснащена рідинними тепловими насосами. Дане рішення дозволяє постачати будинок не тільки електрикою, а також теплом для опалення та гарячого водопостачання 24 години на добу. При виробленні надмірної теплової енергії вона віддаватиметься у загальну мережу за встановленими тарифами. Зазначається, що конструкція площею 16 м² вже протягом року забезпечить власнику значну економію коштів на опалення та освітлення. До того ж таке сучасне рішення є відмінною альтернативою менш продуктивним водяним та повітряним тепловим насосам, а також набагато дорожчим геотермальним системам.

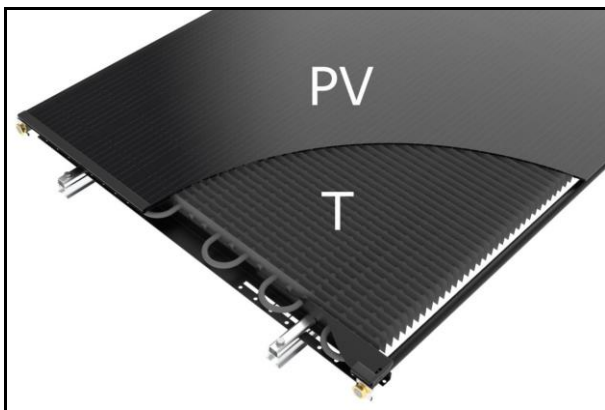


Рисунок 4 – Фототеплові сонячні модулі Triple Solar

Такі тепло-фотоелектричні панелі суттєво відрізняються від стандартних фотомодулів. Вони не мають ізоляції на зворотному боці, що дозволяє їм отримувати теплоту з навколишнього середовища навіть у холодну пору року та у темну пору доби. Можуть використовуватися для роботи як у приватних, так і в комунальних домогосподарствах спільно з насосами, що працюють на розчинах з низькою температурою теплоносія. За розрахунками виробника, для безперебійної роботи котла потужністю 6 кВт буде потрібна конструкція, що складається з кількох тепло-фотоелектричних панелей площею не менше 16 м². Вони об'єднуються з опалювальною системою спеціальними гнучкими роз'ємами та виставляються на даху аналогічно стандартним фотомодулям – на південній стороні

з кутом нахилу 30-45 градусів. Розміри панелей аналогічні параметрам монокристалічних фотоелектричних модулів виробництва компанії Bisol (Словенія) та представлені у двох різновидах: потужністю 380 та 315 Вт. Кожні 2,7 м² площі установки, складеної з модулів, генерують достатньо теплової енергії для забезпечення 1 кВт вихідної потужності теплового насоса. Відповідно, для установки на 6 кВт потрібно не менше 7 панелей, що займають сумарно близько 16 м². Виробник передбачає можливість використання розробки разом із тепловими насосами потужністю до 50 кВт.

Слід відзначити, що швидкому поширенню PV/T систем заважають наявні конфлікти між енергетичними, ексергетичними показниками та економічними й екологічними перевагами. Наприклад, зниження температури фотоелектричної панелі може підвищити ефективність фотоелектричного перетворення системи PV/T-PCM, тоді як витрати на теплові характеристики зменшаться [14]. Щоб покращити загальну продуктивність системи, дослідники повинні намагатися збалансувати ці важливі фактори. Традиційні стратегії оптимізації зазвичай змінюють один параметр за раз, щоб дослідити його вплив на систему.

4. Оцінка ринкового потенціалу колекторів PV/T

За даними [16] світове споживання первинної енергії на даний момент становить трохи менше 14 000 Мт. у.п., і очікується, що попит зросте на 58% від сьогодні до 2040 року. За оцінками, вартість цього ринку наразі перевищує 5,5 трильйона доларів США на рік. За даними Міжнародного енергетичного агентства теплота є найбільшим кінцевим споживачем енергії. У спрощених термінах це означає, що споживачі використовують найбільшу кількість енергії для опалення. На забезпечення опалення для використання в будинках, промислових цілях та інших цілях припадає близько 50% загального споживання енергії. З них більше половини використовується в промисловості, близько 46% в будівельному секторі, а решта в сільському господарстві. Лише приблизно десята частина цього тепла виробляється з відновлюваних джерел. Ринок низькопотенційної теплоти (до 150 °С) оцінюється в 27,6% світового кінцевого попиту на енергію, тому пропорційна оцінка ринкової вартості наразі буде близько 1,5 трильйона доларів США на рік. Довільно припустивши, що

одна третина цього ринку доступна за допомогою поточних PV/T рішень, а енергія оцінюється за цією самою вартістю заміщення, тоді адресний ринок теплоти, виробленої PV/T, становить 0,5 трильйона доларів США на рік. Тому ринок збуту для PV/T величезний.

IRENAs Roadmap [16] свідчить про те, що електрифікація стає ключовим рішенням для скорочення викидів, але лише в поєднанні з чистою електроенергією, яку все частіше можна отримати з найнижчою ціною з відновлюваних джерел енергії. До 2050 року частка електроенергії в загальному споживанні енергії повинна зрости майже до 50%. Тоді відновлювані джерела енергії становитимуть дві третини споживання енергії та 86% виробництва електроенергії. Відновлювана електроенергія в поєднанні з глибокою електрифікацією може скоротити викиди CO₂ на 60%, що становить

найбільшу частку від необхідних зменшень в енергетичному секторі.

5. Аналіз принципів можливостей використання системи сонячних колекторів з системою кондиціювання повітря

Важливість дослідження ефективності роботи поєднаної системи сонячних колекторів та системи кондиціювання повітря визначається зростаючим інтересом до можливостей випарних повітроохолоджувачів непрямого типу (НПО), що обумовлено можливістю одержання охолодженого, при незмінному вологовмісті, основного повітряного потоку. На рис. 5 у полі h - T діаграми вологого повітря представлено протікання процесів в основних елементах порівнюваних сонячних систем з кондиціюванням повітря [17].

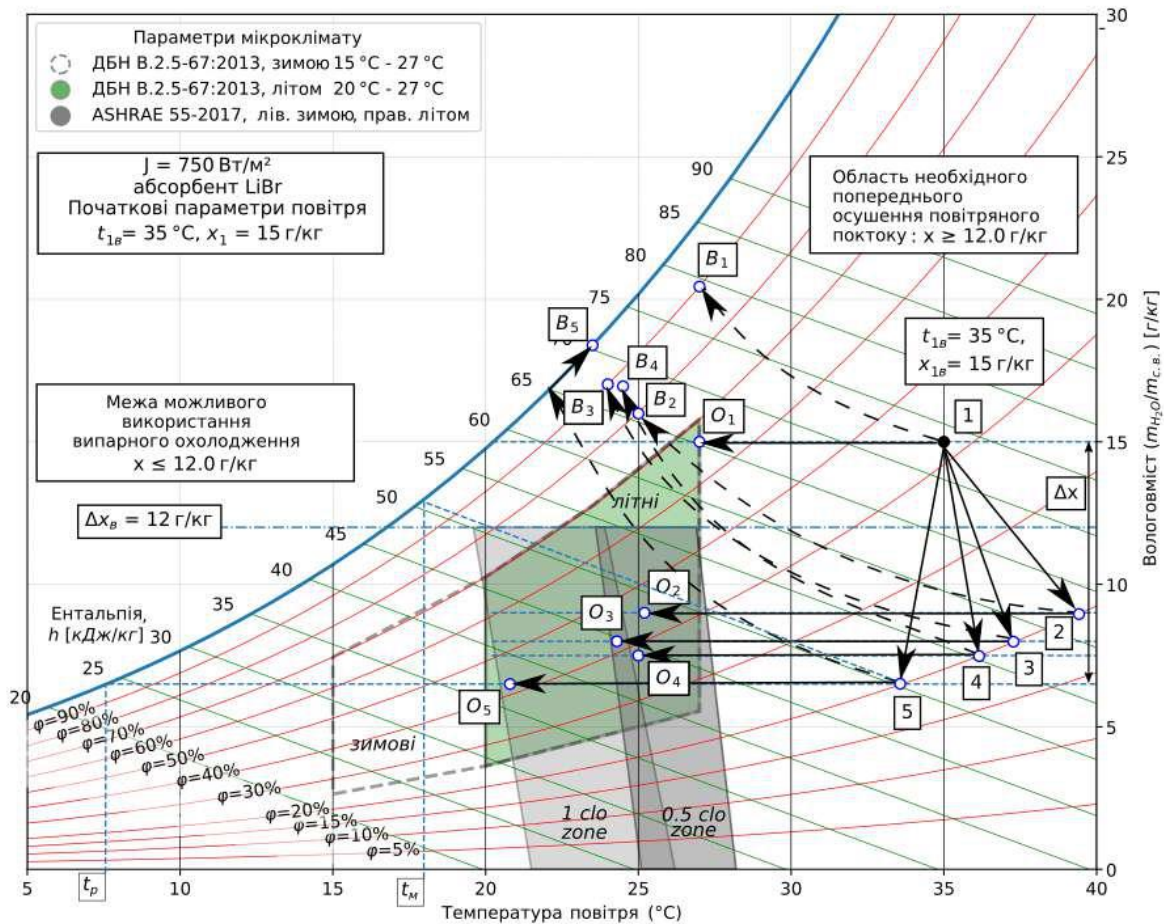


Рисунок 5 – Принципові можливості сонячної системи кондиціювання повітря ССКП на основі відкритого абсорбційного циклу 1-2(4) – процес осушення повітря в абсорбері; «O» і «B» («Д») – охолодження основного й допоміжного повітряних потоків; «O» і «B» («Д») – охолодження основного й допоміжного повітряних потоків

Порівняльний аналіз виконаний для початкових параметрів зовнішнього повітря: $t_{1B} = 35^\circ\text{C}$, $t_{1M} = 24^\circ\text{C}$, $t_{1P} = 20^\circ\text{C}$, $x_1 = 15 \text{ г/кг}$, тобто свідомо, для досить «важких» зовнішніх умов для викорис-

тання випарних охолоджувачів середовищ. Початковий вологовміст зовнішнього повітря обраний значно вище критичної величини $x \approx 12,5 \text{ г/кг}$, що вимагає обов’язкового попереднього осушення по-

вітря перед випарним охолодженням. Аналіз виконаний на основі раніше отриманих в ОНТУ експериментальних даних по ефективності процесів у тепломасообмінному апараті (ТМА) осушувального й охолоджувального контурів [18] на насадці з багатоканальних багат шарових полікарбонатних плит з параметрами шару: $d_e = 15$ мм. В розрахунках величина ефективності процесу охолодження по основному й допоміжному потоках прийнята рівною $E_O = E_B = (t_1 - t_2)/(t_1 - t_m) = 0.65$, при ефективності теплообмінників $E_{то} = 0,8$. Температура води, рециркулюючої через «мокру» частину повітроохолоджувача, прийнята $t_{ж} = t_{1м} + 1.5 - 2.5$ °С. На практиці ефективність охолодження допоміжного повітряного потоку трохи вище, ніж основного, реальне значення величини $t_{ж}$ залежить від співвідношення витрати повітряних потоків в «сухій» і «мокрій» частинах повітроохолоджувача, $l = G_O/G_B$ [18], так що результати виконаного аналізу носять попередній характер і трохи занижені.

Аналіз проводився з урахуванням діючого державного стандарту України ДБН В.2.5-67:2013 «Опалення, вентиляція та кондиціонування, та має схожі параметри мікроклімату з американським стандартом ASHRAE 55-2017 Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy.

Лінія зміни стану допоміжного повітряного потоку в повітроохолоджувачу НПО криволінійна, і до виходу з насадки ТМА може виходити на криву на рівні 100%, з певного моменту слідуючи безпосередньо по ній (лінія 5-B5). Побудова цих кривих виконана за методикою, розробленою на основі методу «ентальпійного потенціалу», запропонованого у роботі [19]. Слід зазначити небезпеку зниження ефективності процесу в цій області, що вимагає окремого аналізу. Вирішення питання зниження ефективності може лежати на регулюванні співвідношення повітряних потоків у каналах, що чергуються в НПО та абсорберу (АБРво). Отримані результати для п'яти порівнюваних варіантів ССКП:

1. НПО (без попереднього осушення зовнішнього повітря): «О»: $t = 27.5$ °С; $x = 15$ г/кг; «Д»: $t = 27$ °С, $\phi = 90\%$;

2. АБР – НПО: $\Delta x = 6$ г/кг; «ПРО»: $t = 25.2$ °С; $x = 9$ г/кг; «Д»: $t = 25$ °С, $\phi = 80\%$;

3. АБРохла – НПО, охолодження АБР від технологічної градирні ГРДт): $\Delta x = 7$ г/кг; «О»: $t = 24,3$ °С; $x = 8$ г/кг; «Д»: $t = 24$ °С, $\phi = 90\%$;

4. АБРохла – НПО, охолодження АБР допоміжним повітряним потоком від НПО): $\Delta x = 7,5$

г/кг; «О»: $t = 25$ °С; $x = 7.5$ г/кг; «Д»: $t = 24.5$ °С, $\phi = 87\%$;

5. АБРво – R – НПО: $\Delta x = 8.5$ г/кг; «О»: $t = 20,8$ °С; $x = 6,5$ г/кг; «Д»: $t = 23,5$ °С, $\phi = 100\%$; (можлива реконденсація).

ССКП може бути побудована тільки на використанні НПО з зовнішнім повітрям. ССКП по залежності АБР – НПО [17] «абсорбер-осушувач» дозволяє знизити вологовміст зовнішнього повітря (процес 1-2, що протікає з деяким зростанням температури осушувального повітряного потоку, оскільки при поглинанні вологи розчином абсорбенту виділяється теплота). Слабкий розчин абсорбенту (N) направляється в десорбер-регенератор. Осушений повітряний потік від $x_{1В} = 15$ г/кг ($t_{1В} = 35$ °С) до 9 г/кг дозволяє, при використанні НПО, одержати комфортні параметри для основного повітряного потоку «О», що надходить у приміщення (O2). Інтерес представляє криволінійний характер лінії зміни стану допоміжного повітряного потоку «В» (лінія 2-B2). Характерною рисою всіх розглянутих вище рішень для НПО є можливість регулювання співвідношення контактуючих потоків «О» і «В» в апараті. Оскільки допоміжний повітряний потік залишає НПО також охолодженим (B1-B5), він може використовуватися для охолодження абсорбера. Процес осушення повітря реалізується при його одночасному охолодженні. Досягнутий рівень охолодження основного потоку «О», $t_{1м} = 20,8$ °С, виявляється нижче природньої межі охолодження зовнішнього повітря ($t_{1м} 24$ °С) і досягає точки роси ($t_{1р} 20$ °С).

Аналіз даних дозволив визначити, що для створення сонячних систем кондиціонування перспективне використання абсорбційного циклу відкритого типу із прямою або непрямою регенерацією абсорбенту, що полягає в попередньому осушенні повітря й наступному його використанні для випарного охолодження середовищ (осушно-випарний охолоджувач). В результаті роботи розроблена концепція створення нового покоління багатфункціональних сонячних систем, що заснована на тепловикористовуючому абсорбційному циклі відкритого типу, який складається з осушувальної частини в складі абсорбера-осушувача – десорбера-регенератора й охолоджувальної частини, у складі випарних охолоджувачів газів і рідин. Роботу десорбера-регенератора забезпечує сонячна система; оптимальним для стійкої роботи є раціональна комбінація альтернативного й традиційного джерел енергії.

6. Висновки

Для значного скорочення викидів парникових газів важливо, щоб основна частка електроенергії надходила з відновлюваних джерел енергії, таких як енергія вітру, сонячна енергія, біомаса та енергія води. Теплопостачання до будівель різного призначення потребує значних енерговитрат, при цьому потенціал використання енергії Сонця для нашої країни значний і його використання дозволить суттєво знизити використання невідновлювальних джерел енергії. Ринок низькопотенційної теплоти оцінюється в 26,8% світового, що демонструє потенціал багатофункціональних сонячних систем, який в даний час покривається викопним паливом (газ, нафта і вугілля), електрикою та відновлюваним теплом.

Когенераційні тепло-фотоелектричні панелі можуть використовуватися для роботи як у приватних, так і в комунальних домогосподарствах разом з тепловими насосами, що працюють на розчинах з низькою температурою теплоносія. Перехід на їх використання дозволить суттєво знизити споживання невідновлювальних джерел енергії, що здатне знизити щорічні викиди CO₂ до 10-12 %.

Обґрунтована можливість збільшення ефективності та вдосконалення технічних характеристик сонячних систем тепло- та холодопостачання і кондиціонування повітря багатофункціональних сонячних систем завдяки використанню абсорбера з внутрішнім випарним охолодженням та розробці одноступеневих варіантів систем на основі абсорбера з внутрішнім випарним охолодженням.

Особистий внесок авторів CRediT

Косой Б.В.: концептуалізація, формальний аналіз, адміністрування. **Бошков Л.З.:** методологія, методичне забезпечення, аналіз та узагальнення даних **Халак В.Ф.:** інформаційний пошук, комп'ютерне моделювання, проведення розрахунків.

Література

1. **Дорошенко О. В., Орлов, В. А.** Сонячні когенераційні системи енерго-, тепло-, холодопостачання // Холодильна техніка та технології. – 2015. – Т. 49(3). – С. 41 – 48.
2. **Chow T.T.** A review on photovoltaic/thermal hybrid solar technology // Applied Energy. – 2010. – 87. – P. 365–379.
3. **Skoplaki E., Palyvos J.A.** Operating temperature of photovoltaic modules: A survey of pertinent correlations // Renewable Energy. – 2009. – Vol. 34. – P. 23-29.
4. **Hoxha B., Selimaj R., Krasniqi D., Osmanaj S.** Cogeneration of energy in solar systems – a study case, Kosovo // International Journal of Power Electronics and Drive Systems (IJPEDS). – 2019. – Vol. 10(3). – P. 1675.
5. **Kallio S., Siroux M.** A Review – Renewable energy based micro-cogeneration and hybrid energy systems // E3S Web of Conferences. – 2021. – Vol. 294. – P. 1-5.
6. **Suresh N. S., Thirumalai N. C., Dasappa S.** Modeling and analysis of solar thermal and biomass hybrid power plants // Applied Thermal Engineering. – 2019. – Vol. 160. – 114121.
7. **G. Kosmadakis et al.** Experimental testing of a low-temperature organic Rankine cycle (ORC) engine coupled with concentrating PV/thermal collectors: Laboratory and field tests // Energy. – 2016. – Vol. 117. –P. 222–236.
8. Фотоелектричний тепловий гібридний сонячний колектор URL: https://wiki5.ru/wiki/Photovoltaic_thermal_hybrid_solar_collector. (дата звернення 30.05.2023).
9. Сонячні повітряні колектори. Електроний реєстр: URL: <https://aw-therm.com.ua/solnechnye-vozdushnye-kollektory/> (дата звернення 30.05.2023).
10. Гібридні сонячні колектори PVT. URL: <https://solarsoul.net/gibridnye-solnechnye-kollektory-pvt>. (дата звернення 30.05.2023).
11. MinIO Browser. URL: https://files.sk.ru/navigator/company_files/1121894/1640279172_Презентация-Greentech-2021.pdf (дата звернення 30.05.2023).
12. Solar Heat Worldwide. AEE - Institute for Sustainable Technologies 8200 Gleisdorf, Austria. IEA Solar Heating & Cooling Programme, May 2019. URL: <https://www.iea-shc.org/Data/Sites/1/publications/Solar-Heat-Worldwide-2019.pdf>. (дата звернення 30.05.2023).
13. Triple Solar unveils new photovoltaic thermal panel for heat-pump houses. pv magazine International. URL: <https://www.pv-magazine.com/2021/09/23/triple-solar-unveils-new-photovoltaic-thermal-panel-for-heat-pump-houses/> (дата звернення 30.05.2023).
14. **Y. Xiao et al.** State-of-the-art review on performance enhancement of photovoltaic/thermal system integrated with phase change materials // Journal of Energy Storage. – 2022. – Vol. 56. – P.106073.
15. **Prasetyo S. D., Prabowo A. R., Arifin Z.** The effect of collector design in increasing PVT perfor-

mance: Current state and milestone. // *Materials Today: Proceedings*. – 2022. – Vol. 63. – P. 51-59.

16. Lämmle M., Herrando M., Ryan G. Basic concepts of PVT collector technologies, applications and markets // IEA SHC. – 2020. – Task 60. – 20 p.

17. Халак В. Ф. Сонячні системи тепло- та холодопостачання і кондиціювання повітря з розробкою полімерних сонячних колекторів та абсорберів з внутрішнім випарним охолодженням : дис. ... д-ра філософії в галузі техн. наук: 142. – Одеса,

2021. – 149 с.

18. ANSI/ASHRAE 55-2017. URL: https://webstore.ansi.org/standards/ashrae/ansiashrae552017?gclid=CjwKCAjw3oqoBhAjEiwA_UaLtkgmYQOIZPDI8xWvp-OP0030N890qVeJZrMgjsRC-TV7Jp_eTDYQB_oCRb4QAvD_WwE. (дата звернення 30.05.2023).

19. Дорошенко О. В., Глауберман М. А. Альтернативна енергетика. Сонячні системи теплохолодопостачання. – Одеса: ОНАХТ, 2012. – 447 с.

Отримана в редакції 30.05.2023, прийнята до друку 12.06.2023

Development and prospects of the implementation of multifunctional solar systems

Boris Kosoy¹✉, Leonid Boshkov², Viacheslav Khalak³

¹⁻³Odesa National University of Technology, 112 Kanatnaya Str., Odessa, 65039, Ukraine

✉ e-mail: ¹bkosoy@yahoo.com

ORCID: ¹<http://orcid.org/0000-0001-5353-8881>; ²<http://orcid.org/0000-0002-2196-1519>;

³<http://orcid.org/0000-0003-2046-4139>

The development of multifunctional solar systems, which directly include PV/T systems and systems of heating, cooling and air conditioning, their implementation into domestic production will contribute to the reduction of reliance on non-renewable fuel and energy resources, the creation of new industries and jobs. The state of development of solar cogeneration PV/T systems, the possibility of distribution in the residential sector, and the readiness of owners of communal households to modernize heating and power supply systems are considered. It is noted that the cogeneration of electricity, refrigeration and heat, providing full autonomy of solar systems, are able to solve the main tasks of life support: hot water supply, cooling of environments and air conditioning, as well as air drying for use in various technological production processes. Data on the prospects of joint use of solar air collectors with heating and ventilation systems are provided. The current state of practical application of PV/T-collectors is considered. The reasons that hinder the rapid spread of PV/T systems are noted and the efficiency of collectors of different designs is compared. The structural and functional features of the operation of the cogeneration solar power plant and the evaluation of its efficiency in relation to the economy of non-renewable sources are presented. An assessment of the market potential of PV/T collectors is presented. It is emphasized that since consumers use the largest amount of energy for heating, the PV/T solar collector is an alternative promising system for applications of low potential energy in residential, industrial and commercial buildings. The concept of creating a new generation of multifunctional solar systems based on the heat-using absorption cycle of the open type has been developed.

Keywords: Solar cogeneration systems; Power generation; Air collectors; Energy consumption; Efficiency

References

1. Doroshenko, O. V., Orlov, V. A. (2015). Solar cogeneration systems of energy, heat, and cooling supply. *Refrigeration Engineering and Technology*, 49(3), 41-48.

2. Chow, T.T. (2010) A review on photovoltaic/thermal hybrid solar technology. *Applied Energy*,

87, 365-379.

3. Skoplaki, E., Palyvos, J.A. (2009). Operating temperature of photovoltaic modules: A survey of pertinent correlations. *Renewable Energy*, 34, 23-29

4. Hoxha, B., Selimaj, R., Krasniqi, D., Osmanaj, S. (2019). Cogeneration of energy in solar systems - a study case, Kosovo. *International Journal of Power Electronics and Drive Systems (IJPEDS)*, 10(3), 1675.

5. **Kallio, S., Siroux, M.** (2021). A Review – Renewable energy based micro-cogeneration and hybrid energy systems. *E3S Web of Conferences*, 294, 01004.
6. **Suresh, N. S., Thirumalai, N. C., Dasappa, S.** (2019). Modeling and analysis of solar thermal and biomass hybrid power plants. *Applied Thermal Engineering*, 160, 114121.
7. **Kosmadakis, G., Landelle, A., Lazova, M., Manolakos, D., Kaya, A., Huisseune, H., Karavas, C.-S., Tauveron, N., Revellin, R., Haberschill, P., De Paepe, M., Papadakis, G.** (2016). Experimental testing of a low-temperature organic Rankine cycle (ORC) engine coupled with concentrating PV/thermal collectors: Laboratory and field tests. *Energy*, 117, 222-236.
8. Photoelectric thermal hybrid solar collector. Retrived 30 May 2023 from https://wiki5.ru/wiki/Photovoltaic_thermal_hybrid_solar_collector.
9. Solar air collectors. Retrived 30 May 2023 from <https://aw-therm.com.ua/solnechnye-vozdushnye-kollektory/>.
10. Hybrid solar collectors PVT. Retrived 30 May 2023 from <https://solarsoul.net/gibridnye-solnechnye-kollektory-pvt>.
11. MinIO Browser. Retrived 30 May 2023 from https://files.sk.ru/navigator/company_files/1121894/1640279172_Презентация-Greentech-2021.pdf.
12. Solar Heat Worldwide. AEE – Institute for Sustainable Technologies 8200 Gleisdorf, Austria. IEA Solar Heating & Cooling Programme, May 2019. Retrived 30 May 2023 from <https://www.iea-shc.org/Data/Sites/1/publications/Solar-Heat-Worldwide-2019.pdf>
13. Triple Solar unveils new photovoltaic thermal panel for heat-pump houses. pv magazine International. Retrived 30 May 2023 from <https://www.pv-magazine.com/2021/09/23/triple-solar-unveils-new-photovoltaic-thermal-panel-for-heat-pump-houses/>
14. **Yao Xiao, Pingrui Huang, Gaosheng Wei, Liu Cui, Chao Xu, Xiaoze Du** (2022). State-of-the-art review on performance enhancement of photovoltaic/thermal system integrated with phase change. *Journal of Energy Storage*, 56, 106073.
15. **Prasetyo, S. D., Prabowo, A. R., Arifin, Z.** (2022). The effect of collector design in increasing PVT performance: Current state and milestone. *Materials Today: Proceedings*. 63. P. 51-59.
16. **Lämmle, M., Herrando, M., Ryan, G.** (2020). Basic concepts of PVT collector technologies, applications and markets. *IEA SHC*, 60, 20.
17. **Khalak, V.** (2021). Solar-assisted Heat and Cold Supply and Air Conditioning Systems with Highlights on Polymer Solar Collectors and Absorbers with Internal Evaporative Cooling. *Odesa National Academy of Food Technologies*, 149
18. ANSI/ASHRAE 55-2017. Retrived 30 May 2023 from https://webstore.ansi.org/standards/ashrae/ansi-ashrae552017?gclid=CjwKCAjw3oqoBhAjEiwA_UaLtkgmYQOIZPDli8xWvp-OPOO30N890qVeJZrMgjsRC-TV7Jp_eTDYQBoCRb4QAvD_BwE.
19. **Doroshenko, O.V., Glauberman, M.A.** (2012). Alternative energy. Solar heating and cooling systems. *Odesa: ONAFT*, 447

Received 30 May 2023

Approved 12 June 2023

Available in Internet 30 June 2023