

М. П. Кунденко, д. техн. н., професор, В. В. Старіков, д. фіз.-мат. н., професор,
О. Ю. Єгорова, к. техн. н., доцент, Т. М. Пугачова, к. техн. н., професор,
О. В. Кошельник, к. техн. н., доцент, Д. Ю. Білоус, аспірант

КОМБІНОВАНІ СОНЯЧНО-ЕЛЕКТРИЧНІ СИСТЕМИ ТЕПЛОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

Ключові слова: сонячний колектор, світлопоглинальне покриття, джерело, теплоносії, інфрачервоне випромінювання, геліосистема, опалення.

Постановка проблеми. В останні роки енергія Сонця розглядається як високо-ефективне додаткове джерело, яке у найближчі 10–15 років може дати значну частку енергії, необхідної людству. Цим пояснюється збільшення кількості досліджень з геліо-енергетики у більшості розвинених країн світу.

Можливість ефективного використання сонячного випромінювання завжди займала людство, але конкретне здійснення обмежувалося технічними можливостями виготовлення складних конструкцій та низькою ефективністю перетворення світлової енергії на теплову або електричну. Однак через зростання цін на нафту і паралельно цьому на інші енергоносії увага до використання сонячної енергії постійно зростає. Крім того, при використанні сонячної енергії не відбувається забруднення навколишнього середовища [1].

Сонячну енергію можна використовувати навіть у країнах із малою інсоляцією. Наприклад, у Німеччині у наступний час існує велика кількість опалювальних та нагрівальних пристроїв, до складу яких входять у тому числі сонячні енергетичні установки, навіть в північних районах країни, де сонячне опромінення не таке сильне. Серед інших пристроїв особливу популярність мають сонячні водонагрівачі, їх також називають сонячними колекторами, які використовують енергію сонця для нагрівання води. Вони працюють без джерела електроенергії. Сонячний водонагрівач може використовуватися для душу, гарячого водопостачання кухні, і, залежно від розміру, для обігріву будинку. Отже, інші види палива та ресурси, які досі використовувалися для нагрівання води, можуть бути заощаджені. Сонячні нагрівачі широко застосовуються у країнах із високим сонячним опроміненням та холодними зимами. Вони використовуються повсюдно, але особливо активно у сільських та гірських регіонах, де мають місце перебої в енергопостачанні.

Мета: Розробка ефективних комбінованих сонячно-електричних систем теплопостачання, які поєднують використання сонячної енергії, інфрачервоного нагріву та традиційних джерел енергії для підвищення продуктивності, енергоефективності та екологічної безпеки систем тепловодозабезпечення.

Аналіз попередніх досліджень. Для оцінки можливостей сонячної енергетики вважають, що середня щільність потоку сонячної радіації поза атмосферою Землі дорівнює 1.4 кВт/м^2 , але на рівні океану на екваторі опівдні 1 кВт/м^2 [1]. Дієвість використання сонячної енергії залежить від географічного розташування, від пори року та по-

годних умов [2]. Тому кількість енергії, що приймається на 1 м^2 дуже мінлива. Загальна потужність сонячної радіації, яку перехоплює наша планета, становить $1,7 \cdot 10^{14}$ кВт. Це колосальна потужність, що приблизно в 500 разів перевищує граничні потреби людської цивілізації, що становлять $3 \cdot 10^{11}$ кВт. Якщо оцінити всю сонячну енергію, яку наша планета отримує за один рік, то вона складе 1018 кВт. год, що приблизно в 10 разів більше енергії всіх розвіданих і нерозвіданих копалин, включаючи і речовини, що розщеплюються. Сонячна енергетика доступна повсюдно і це екологічно чисте джерело енергії, що дозволяє використовувати його в масштабах, що постійно зростають, без негативного впливу на навколишнє середовище.

Основними напрямками використання сонячної енергії вважаються: пряме перетворення сонячної енергії на електричну; отримання тепла шляхом абсорбції сонячного випромінювання.

Останній напрямок, пов'язаний з виробництвом низькотемпературного тепла можна здійснити за допомогою теплових колекторів [3], які перетворюють сонячне випромінювання на теплову енергію. Сонячний колектор – це ефективна енергозберігаюча технологія, яка при правильному монтажі та експлуатації може на 50–80 % скоротити витрати на опалення та приготування гарячої води. Найбільш ефективно сонячний колектор працює влітку (для підігріву води), а також навесні та восени (в режимі опалення). Його зазвичай використовують як додаткове джерело обігріву, в зимовий час геліосистема може забезпечити комфортні умови проживання лише за якісного виконання теплоізоляції будинку та встановлення системи достатньої потужності. Чим більше площа будинку, тим більше буде потрібна потужність сонячного колектора, тим більшу площу він займатиме.

Виклад основного матеріалу. Так як основна інтенсивність сонячного випромінювання в наземних умовах знаходиться в спектральному інтервалі $0,4 \text{ мкм}–1,8 \text{ мкм}$, то як прозорий верхній шар використовується звичайне скло. Коефіцієнт пропускання скла у цьому спектральному діапазоні досягає 95 %. Розташований у нижній частині колектора, теплоприймач є абсорбуючим покриттям з коефіцієнтом поглинання сонячного випромінювання до 90 %. Поглинаючи пряме сонячне випромінювання, це абсорбуюче покриття навіть без верхнього скла може нагріватися залежно від потужності падаючого випромінювання до $150–200 \text{ }^\circ\text{C}$. Нагріте до таких температур тіло випромінює теплову енергію, основна потужність якого знаходиться в інфрачервоному діапазоні.

Ефективність сонячного колектора може бути суттєво збільшена при використанні на теплоприймальній поверхні селективних поглинаючих покриттів, які мають властивість ефективно поглинати видиму частину сонячного спектру і практично не випромінювати енергію в інфрачервоній області спектра [4–7].

Існує чимало різноманітних типів світлопоглинальних покриттів як на основі органічних, так і неорганічних матеріалів. Серед органічних матеріалів найчастіше використовуються чорні фарби та лаки. Такі покриття мають достатньо високу ефективність, низьку собівартість, але з часом розвиток деградаційних процесів за рахунок низької стійкості органіки до дії світла та термічного навантаження суттєво погіршує їх оптичні характеристики. Серед неорганічних покриттів найбільшого поширення у серійному виробництві набули покриття, сформовані шляхом електрохімічної обробки поверхні сталі та деяких сплавів кольорових металів. Однак, такі чорні мають ряд істотних недоліків, до яких належать: екологічно шкідливе виробництво, низька ефектив-

ність теплового поглинання сонячної енергії і, відповідно, низьке значення ККД, та ін. Деякі інші типи покриттів (текстуровані поверхні, багат шарові напівпровідникові структури та ін.) при високих оптичних характеристиках та стабільності параметрів у часі мають достатньо складну технологію виготовлення, що підвищує собівартість [4, 7, 8].

Альтернативою існуючим світлопоглинальним покриттям у сонячних колекторах можуть бути селективні покриття на основі низьковакуумних конденсатів алюмінію. З цього приводу найбільш цікавими є покриття, що виготовляються з використанням вакуумних технологій, коли за рахунок примусового підвищення тиску на підкладку осаджується комбінований кластерний та молекулярний потоки речовини. Вибір у якості матеріалу для низьковакуумного покриття алюмінію додає переваг цій технології, бо алюміній має досить низьку температуру плавлення, а кероване утворення на поверхні плівки, що осаджується, оксидних фаз суттєво підвищує корозійну стійкість покриття [9].

Синтез світлопоглинальних покриттів на основі низьковакуумного конденсату алюмінію виявив, що вони, завдяки наявності лабіринту відкритих мікро- і субмікропор (загальний обсяг пор у таких об'єктах може досягати 50 %) з широким розподілом за розмірами мають гранично високі значення коефіцієнта поглинання ($A_s > 0,95$) в діапазоні довжин хвиль видимої та інфрачервоної області спектру, наближаючи цей матеріал за оптичними властивостями до абсолютно чорного тіла. При певній товщині та умовах виготовлення низьковакуумні конденсати алюмінію набувають властивості селективності, коли поряд з високою поглинаючою здатністю у видимій області спектру ($\lambda = 0,4-0,7$ мкм) спостерігаються низькі значення коефіцієнта випромінювальної здатності – ступеня чорноти ($\epsilon < 0,20$) в області власного теплового випромінювання ($\lambda = 4-60$ мкм при 300 К). Саме це забезпечує їх високу ефективність для використання у сонячних колекторах для перетворення світла на тепло. Стабільність оптичних параметрів таких покриттів забезпечується вихідною високодефектною поверхневою структурою [9]. Покриття такого типу можуть підвищити ККД сонячного колектора на 18–22 %.

Інтенсивність сонячного випромінювання в зимовий період, а в деяких випадках у весняний та осінній періоди, є недостатньою для забезпечення необхідною потужністю систем тепловодозабезпечення з геліоколекторами [10]. Для покриття навантажень у цій період потрібен сезонний накопичувач сонячної енергії великої ємності. Витрати, пов'язані із встановленням даного накопичувача, значно збільшують вартість геліосистеми та строк її окупності. Тому ці накопичувачі не отримали широкого поширення.

У таких випадках дані системи доцільно обладнувати додатковими джерелами енергії – електрокотлами або котлами на органічному викопному паливі. Враховуючи сучасні тенденції на загальне зменшення енергоспоживання та відмову від використання органічного палива, доцільним буде застосування в таких системах додаткових джерел енергії, які мінімізують питомі витрати енергії на догрівання енергоносія та є екологічно чистими. Для цього пропонується встановлення інфрачервоного котла.

Аналізуючи експериментальні та теоретичні залежності, отримані під час проведення досліджень камер ІЧ-нагріву з різною геометрією опромінення, ставиться завдання покращити технологічну надійність, продуктивність, раціональне використання енергоносіїв, високі техніко експлуатаційні та малогабаритні показники.

Поставлена задача вирішується так. Установка для нагріву теплоносія, до складу якого входить циліндричний вертикальний корпус, верхня і нижня кришка, ІЧ нагрівників у вигляді прозорої для ІЧ променів трубки, усередині якої знаходиться ІЧ нагрівник, виконаний у вигляді спіралі, деталі кріплення і елементи ущільнення, вихідний патрубок, циркуляційний насос, блок живлення, додатково забезпечений кільцевою камерою, концентрично розташованою усередині циліндричного вертикального корпусу з зазором, утворюючи периферійний об'єм, в якому на 0.5...0.55 висоти кільцевої камери розташована звита в спіраль трубка зміювика, вхідний кінець якої закріплений в отворі нижньої кришки і з'єднаний з вихідним штуцером циркуляційного насоса, а вихідний – герметично закріплений в отворі дна кільцевої камери, при цьому у внутрішньому об'ємі кільцевої камери розміщений блок ІЧ -нагрівачів, в вигляді пучка трубок, консольно закріплених в отворах верхньої кришки, центри яких розміщені в вершинах та в центрі шестикутника вписаного в коло верхньої кришки, діаметром $d_{\text{кола}} \leq (D_{\text{кільц.кам.}} - 2d_{\text{труб}})$, з можливістю синхронного ексцентричного зміщення кожної з трубок блока ІЧ -нагрівачів в вертикальній площині відносно повздовжньої осі кільцевої камери, крім того у внутрішньому об'ємі кільцевої камери послідовно один над одним розміщено пакет перфорованих турбулізаторів, закріплених на зубоподібних виступах, рівномірно розподілених по внутрішньому периметру кільцевої камери в горизонтальній площині, при цьому в зазорі над зміювиковою трубкою розміщено пакет кільцевих перфорованих перемішувачів, внутрішні кромки яких щільно прилягають до зовнішньої поверхні кільцевої камери, а зовнішні кромки – до внутрішньої поверхні циліндричного корпусу. крім того, вузли з'єднання затискачів і трубок блока ІЧ -нагрівачів, винесені з робочої зони корпусу і розташовані в повітряному проміжку, утвореному верхньою кришкою і верхньою кромкою кільцевої камери [11].

При цьому внутрішня поверхня циліндричного вертикального корпусу, верхньої і нижньої кришки покриті шаром термостійкого електроізоляційного матеріалу індиферентного до кислого середовища при температурі 100-150°C. Для синхронізованої зміни ексцентриситету трубок блока ІЧ -нагрівачів, пристрій забезпечений центральним приводом, закріпленим на верхній кришці, при чому трубки блока ІЧ -нагрівачів виготовлені у вигляді урізаного конуса оберненого більшою основою до верхньої кришки, а крок навивки спіралей ІЧ -нагрівачів виконаний зменшенням в напрямку більшої основи трубок, починаючи з 0,5...0,6 висоти останніх [11].

Основною задачею запропонованої установки, є більш ефективно використовувати енергоносії. Це стає можливим за рахунок більш раціонального поєднання традиційної енергетики (живлення від мережі) і використання вторинних енергоресурсів; активної турбулізації маси теплоносія, що подається циркуляційним насосом у внутрішній об'ємі кільцевої камери; винесення вузлів з'єднання затискачів і трубок ІЧ-нагрівача в неробочий повітряний проміжок між верхньою кришкою і верхньою кромкою кільцевої камери; регулювання температури нагріву за рахунок зміни ексцентриситету блока трубок з ІЧ-нагрівачами; вирівнювання градієнтів температурного поля у внутрішньому об'ємі кільцевої камери; можливості регулювання продуктивності нагрівальної установки, підвищення технологічної надійності; уніфікації елементів і режимів нагріву; можливість живлення від мережі і нетрадиційних джерел [12].

Для використання отриманого в геліоколекторах енергетичного потенціалу теплоносія доцільно застосовувати для систем опалення та гарячого водопостачання дво-

контурну схему з примусовою циркуляцією. Перший контур містить у собі блок сонячних колекторів, циркуляційний насос і розширювальний бак, що дозволяє компенсувати теплове розширення теплоносія. Другий контур, де циркулює мережна вода, складається з бака-акумулятора і додаткового електричного водонагрівача [13].

В геліосистемах, які забезпечують значну кількість споживачів, доцільно застосовувати системи з двома акумуляторами, що з'єднуються паралельно. У першому акумуляторі відбувається попередній нагрів теплоносія за рахунок сонячної енергії, а в другому здійснюється догрівання теплоносія за рахунок традиційних джерел тепла (електричний підігрівач). Обидва акумулятора з'єднуються між собою циркуляційним трубопроводом. При високій інтенсивності сонячної енергії необхідність застосування додаткових джерел енергії відсутня.

Якщо геліосистеми використовуються одночасно для опалення та гарячого водопостачання, то застосовуються два окремих теплових накопичувача для води системи водопостачання та води системи опалення. Але в більшості випадків такі системи опалення можливо використовувати як додаткові із-за недостатньої інтенсивності сонячного випромінювання [14].

Перевагою таких схем є можливість застосування в першому контурі теплоносіїв, що не замерзають при низьких температурах. У разі необхідності може бути запропонована комбінована схема, що поєднує сонячну водонагрівальну установку і тепловий дублер – паливний водогрійний котел, де у якості джерела енергії можуть бути використані пелети або інші види органічного палива. Тут передбачена можливість нагрівання живильної води, що подається в котел, за рахунок сонячної енергії. Блок керування забезпечує узгодження потужностей джерел енергії та теплових навантажень системи [15].

Також можливо розглядати варіант системи опалення з тепловим багатощаровим акумулятором. Тут використовується різниця у густині гарячої та холодної води. За рахунок цього у верхній частині акумулятора можливо забезпечити відбір гарячої води набагато більший час, ніж у змішаних накопичувачах. З метою запобігання зберігання окремого шару гарячої та холодної води, подача води в накопичувач та її відбір здійснюється на різних рівнях. Керування такою системою здійснюється за допомогою системи автоматики.

Висновки

Запропонована комбінація геліосистеми та інфрачервоного нагрівача дозволяє значно підвищити ефективність використання енергоресурсів для систем теплопостачання. Інфрачервоний нагрівач компенсує нестачу теплової енергії під час періодів низької інтенсивності сонячного випромінювання (зимовий та міжсезонний періоди), забезпечуючи стабільну температуру теплоносія.

Інтеграція ПЧ-нагрівача з геліоколектором сприяє:

1. **Раціональному використанню енергоносіїв:** комбінування сонячної енергії та ПЧ-нагрівача знижує питомі витрати енергії на нагрів.

2. **Екологічності:** ПЧ-нагрівач використовує електроенергію без спалювання органічного палива, що зменшує викиди CO.

3. **Гнучкості:** регулювання температури та ексцентриситету ПЧ-нагрівача дозволяє адаптувати систему до змінних теплових навантажень.

4. Універсальності: така система підходить як для опалення, так і для гарячого водопостачання.

Таким чином, поєднання геліосистеми та інфрачервоного нагрівача забезпечує енергоефективне, екологічно чисте та надійне рішення для сучасних систем теплопостачання.

Література

1. Cui T., Xuan Y., Li Q. Technical and economic analysis of integrating low-medium temperature solar energy into power plant. *Energy Conversion & Management*. 2016. Vol. 112. P. 459-469. doi: 10.1016/j.enconman.2016.01.037.
2. Степанова Н.Д. Економічний та екологічний аспекти теплопостачання на базі геліоустановок. *Вісник Хмельницького національного університету*. 2013. №5. С. 65–68.
3. Попель О.С. Порівняльний аналіз показників конструкцій сонячних колекторів зарубіжного і вітчизняного виробництва. *Нові технічні рішення. Теплоенергетика*. 2006. № 3. С. 23–29.
4. Rinnerbauer V., Lausecker E., Schäffler F., Reininger P., Strasser G., Geil R. D., et al. Nanoimprinted Superlattice Metallic Photonic crystal as Ultrasensitive Solar Absorber. *Optica*. 2015. Vol. 2, no. 8. P. 743-746. doi:10.1364/optica.2.000743.
5. Li Y., Lin C., Zhou D. Scalable All-Ceramic Nanofilms as Highly Efficient and Thermally Stable Selective Solar Absorbers. *Nano Energy*. 2019. Vol. 64. P. 103947.
6. Cao F., Mcenaney K., Chen G., Ren Z. A Review of Cermet-Based Spectrally Selective Solar Absorbers. *Energy Environ. Sci*. 2014. Vol. 7, no. 5. P. 1615–1627. doi:10.1039/c3ee43825b.
7. Chou J.B., Yeng Y.X., Lee Y.E., Lenert A., Rinnerbauer V., Celanovic I., et al. Enabling Ideal Selective Solar Absorption with 2D Metallic Dielectric Photonic Crystals. *Adv. Mater*. 2014. Vol. 26, no. 47. P. 8041-8045. doi:10.1002/adma.201403302.
8. El-Mahallawy N., Atia M. R. A., Khaled A., Shoeib M. Design and Simulation of Different Multilayer Solar Selective Coatings for Solar thermal Applications. *Mater. Res. Express*. 2018. Vol. 5, no. 4. P. 046402. doi:10.1088/2053-1591/aab871.
9. Starikov V. Light-absorbing inorganic coatings for solar and optoelectronic elements. 2020 IEEE 4th International Conference on Intelligent Energy and Power Systems (IEPS). Istanbul, Turkey, 2020. P. 154-157. doi: 10.1109/IEPS51250.2020.9263163.
10. Venhryn, Iryna, Shapoval, Stepan, Zhelykh, Vasyly, Kozak, Khrystyna, Gulai, Bogdan. (2022). Heat supply of buildings with environmentally friendly sources using solar energy. *Ventilation, Illumination and Heat Gas Supply*. 41. 18-23. 10.32347/2409-2606.2022.41.18–23.
11. Кунденко М.П., Романченко М.А. Пастеризатор: патент на винахід. №47070, 17.06.2002, бюл. № 6/2002.
12. Єгоров, О. Б Analysis of structures and methods of calculations of solar collectors as an alternative source of heat energy., О. Б Єгоров, О. Ю Єгорова, Я. Б Форкун, / *Світлотехніка та електроенергетика*// 2017 (3), с. 31–35.

13. Blikharskyy, Z., Koszelnik, P., Mesaros, P. (eds) Proceedings of CEE 2019. CEE 2019. Lecture Notes in Civil Engineering, vol 47. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-27011-7_65.

14. Дорошенко, О., Халак, В., Дем'яненко, Ю. (2020). Оптимізація й прогнозування ефективності рідинних сонячних колекторів у складі систем гарячого водопостачання. *Refrigeration Engineering and Technology*, 56(1-2), 37-43. <https://doi.org/10.15673/ret.v56i1-2.1827>.

15. Схеми об'язування твердопаливного котла URL: <https://centr-tepla.com.ua/ua/skhemy-obv'iazky-tverdotoplyvnoho-kotla/> (дата звернення: 16.11.2024).

Bibliography (transliterated)

1. Cui T., Xuan Y., Li Q. Technical and economic analysis of integrating low-medium temperature solar energy into power plant. *Energy Conversion & Management*. 2016. Vol. 112. P. 459-469. doi: 10.1016/j.enconman.2016.01.037.

2. Stepanova N.D. Ekonomichnyi ta ekolohichniy aspekty teplopostachannia na bazi helioustanovok. *Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu*. 2013. №5. P. 65–68.

3. Popel O.S. Porivnialnyi analiz pokaznykiv konstruktсии soniachnykh kolektoriv zarubizhnoho i vitchyznianoho vyrobnytstva. *Novi tekhnichni rishennia. Teploenerhetyka*. 2006. № 3. P. 23–29.

4. Rinnerbauer V., Lausecker E., Schäffler F., Reininger P., Strasser G., Geil R. D., et al. Nanoimprinted Superlattice Metallic Photonic crystal as Ultrasensitive Solar Absorber. *Optica*. 2015. Vol. 2, no. 8. P. 743-746. doi:10.1364/optica.2.000743.

5. Li Y., Lin C., Zhou D. Scalable All-Ceramic Nanofilms as Highly Efficient and Thermally Stable Selective Solar Absorbers. *Nano Energy*. 2019. Vol. 64. P. 103947.

6. Cao F., Mcenaney K., Chen G., Ren Z. A Review of Cermet-Based Spectrally Selective Solar Absorbers. *Energy Environ. Sci*. 2014. Vol. 7, no. 5. P. 1615-1627. doi:10.1039/c3ee43825b.

7. Chou J. B., Yeng Y. X., Lee Y. E., Lenert A., Rinnerbauer V., Celanovic I., et al. Enabling Ideal Selective Solar Absorption with 2D Metallic Dielectric Photonic Crystals. *Adv. Mater*. 2014. Vol. 26, no. 47. P. 8041-8045. doi:10.1002/adma.201403302.

8. El-Mahallawy N., Atia M. R. A., Khaled A., Shoeib M. Design and Simulation of Different Multilayer Solar Selective Coatings for Solar thermal Applications. *Mater. Res. Express*. 2018. Vol. 5, no. 4. P. 046402. doi:10.1088/2053-1591/aab871.

9. Starikov V. Light-absorbing inorganic coatings for solar and optoelectronic elements. 2020 IEEE 4th International Conference on Intelligent Energy and Power Systems (IEPS). Istanbul, Turkey, 2020. P. 154-157. doi: 10.1109/IEPS51250.2020.9263163.

10. Venhryn, Iryna, Shapoval, Stepan, Zhelykh, Vasyl, Kozak, Khrystyna, Gulai, Bogdan. (2022). Heat supply of buildings with environmentally friendly sources using solar energy. *Ventilation, Illumination and Heat Gas Supply*. 41. 18–23. 10.32347/2409-2606.2022.41.18–23.

11. Kundenko M.P., Romanchenko M.A. Pasteryzator: patent na vynakhid. №47070, : 17.06.2002, biul. № 6/2002.

12. Yehorov, O.B Analysis of structures and methods of calculations of solar collectors as an alternative source of heat energy., O. B Yehorov, O. Yu Yehorova, Ya. B Forkun./ Svitlotekhnika ta elektroenerhetyka// 2017 (3), P. 31–35.

13. Blikharsky, Z., Koszelnik, P., Mesaros, P. (eds) Proceedings of CEE 2019. CEE 2019. Lecture Notes in Civil Engineering , vol 47. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-27011-7_65.

14. Doroshenko, O., Khalak, V., Demianenko, Yu. (2020). Optymizatsiia y prohnozuвання efektyvnosti ridynnykh soniachnykh kolektoriv u skladi system hariachoho vodopostachannia. Refrigeration Engineering and Technology, 56(1–2), 37–43. <https://doi.org/10.15673/ret.v56i1-2.1827>.

15. Skhemy obviazuvannia tverdopalyvnoho kotla URL: <https://centr-tepla.com.ua/ua/skhemy-obviazky-tverdopalyvnoho-kotla/> (data zvernennia: 16.11.2024).
УДК 697.9:620.91

М. П. Кунденко, В. В. Старіков, О. Ю. Єгорова, Т. М. Пугачова, О. В. Кошельнік,
Д. Ю. Білоус

КОМБІНОВАНІ СОНЯЧНО-ЕЛЕКТРИЧНІ СИСТЕМИ ТЕПЛОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

У статті досліджуються комбіновані сонячно-електричні системи теплопостачання, які інтегрують відновлювані та традиційні джерела енергії для забезпечення опалення і гарячого водопостачання. Запропоновано альтернативу існуючим світлопоглинальним покриттям у сонячних колекторах на основі низьковакуумних конденсатів алюмінію. Рекомендується покриття, що виготовляються з використанням вакуумних технологій, коли за рахунок примусового підвищення тиску на підкладку осаджується комбінований кластерний та молекулярний потоки речовини. Вибір у якості матеріалу для низьковакуумного покриття алюмінію додає переваг цій технології, бо алюміній має досить низьку температуру плавлення, а кероване утворення на поверхні плівки, що осаджується, оксидних фаз суттєво підвищує корозійну стійкість покриття. Розглянуто конструкції сонячних колекторів, їх принцип роботи та переваги використання селективних світлопоглинальних покриттів, які здатні підвищити ККД колекторів на 18–22 %. Запропоновано інноваційну систему інфрачервоного нагріву, що забезпечує підвищення ефективності теплопередачі, зниження енергоспоживання та стабільність роботи навіть при низькому рівні інсоляції. задачею запропонованої установки, є більш ефективно використовувати енергоносії. Це стає можливим за рахунок більш раціонального поєднання традиційної енергетики (живлення від мережі) і використання вторинних енергоресурсів; активної турбулізації маси теплоносія, що подається циркуляційним насосом у внутрішній об'єм кільцевої камери; регулювання температури нагріву; вирівнювання градієнтів температурного поля у внутрішньому об'ємі кільцевої камери; можливості регулювання продуктивності нагрівальної установки, підвищення технологічної надійності; уніфікації елементів і режимів нагріву; можливість живлення від мережі і нетрадиційних джерел. Проаналізовано застосування теплових акумуляторів та багатошарових систем, які дозволяють збільшити тривалість відбору гарячої води. Розглянуто можливості комбінованих схем з додатковими джерелами енергії, таки-

ми як електрокотли або котли на біопаливі, що знижує залежність від викопних енергоресурсів. Ці рішення сприяють підвищенню енергоефективності та сталого розвитку енергетики. Висновки підкреслюють потенціал інтеграції таких систем у сучасні енергетичні мережі, забезпечуючи екологічність, енергонезалежність і зниження експлуатаційних витрат.

Ключові слова: сонячний колектор, світлопоглинальне покриття, джерело, теплоносії, інфрачервоне випромінювання, геліосистема, опалення.

M. P. Kundenko, V. V. Starikov, O. Yu. Iegorova, T. M. Puhachova, O. V. Koshelnik,
D. Yu. Bilous

COMBINED SOLAR-ELECTRIC HEAT SUPPLY SYSTEMS

The article examines combined solar-electric heating systems that integrate renewable and traditional energy sources to provide heating and hot water. An alternative to existing light-absorbing coatings in solar collectors based on low-vacuum aluminum condensates is proposed. Coatings manufactured using vacuum technologies are recommended, when a combined cluster and molecular flow of matter is deposited on the substrate due to a forced increase in pressure. Choosing aluminum as a material for low-vacuum coating adds advantages to this technology, because aluminum has a fairly low melting point, and the controlled formation of oxide phases on the surface of the deposited film significantly increases the corrosion resistance of the coating. The designs of solar collectors, their principle of operation and the advantages of using selective light-absorbing coatings, which can increase the efficiency of collectors by 18–22 %. An innovative infrared heating system is proposed, which ensures increased heat transfer efficiency, reduced energy consumption, and stable operation even at a low level of insolation. the task of the proposed installation is to use energy carriers more efficiently. This becomes possible due to a more rational combination of traditional energy (supply from the network) and the use of secondary energy resources; active turbulation of the heat carrier mass supplied by the circulation pump into the internal volume of the annular chamber; regulation of the heating temperature; equalization of temperature field gradients in the inner volume of the ring chamber; possibilities of regulating the productivity of the heating installation, increasing technological reliability; unification of heating elements and modes; the possibility of power supply from the network and non-traditional sources. The use of heat accumulators and multilayer systems, which allow to increase the duration of hot water selection, have been analyzed. The possibilities of combined schemes with additional energy sources, such as electric boilers or biofuel boilers, which reduce dependence on fossil energy resources, are considered. These solutions contribute to increasing energy efficiency and sustainable development of the energy industry. The conclusions emphasize the potential of integrating such systems into modern energy networks, ensuring environmental friendliness, energy independence and reducing operating costs

Keywords: solar collector, light-absorbing coating, source, coolant, infrared radiation, solar system, heating.