

СОНЯЧНЕ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ: РІЗНОВИДИ СИСТЕМ ПЕРЕТВОРЕННЯ, ЕФЕКТИВНІСТЬ

Отримано 05 груд. 2022; рекомендовано до публікації 27 груд. 2022
Доступно онлайн 30 груд. 2022

С. А. Зощенко¹

¹ заступник директора. Інститут відновлюваної енергетики НАН України, м. Київ.
<http://orcid.0000-0002-7997-9324>

Автор для кореспонденції: Сергій Зощенко,
e-mail: zoshchenkosergey@gmail.com

Використання сонячної енергії в сучасних умовах – одні з найдоступніших та найпопулярніших енергоощадних технологій, яка дозволяє значною мірою підвищити ефективність теплопостачання за рахунок того, що енергія, отримана від Сонця, є найдешевшою та технологічно доступною. У роботі розглядається питання застосування систем сонячного теплопостачання для потреб теплопостачання приватних будинків, офісних приміщень та виробничих приміщень. Надано класифікацію існуючих типів сонячних колекторів. Наведено загальний аналіз побудови, принципу роботи та складу плоских і вакуумних сонячних колекторів. Обґрунтовано основні теплофізичні параметри, що визначають ефективність геліосистеми. Виконано аналіз ефективності роботи плоских і вакуумних сонячних колекторів для нагріву води в системі гарячого водопостачання та опалення будівель. Проведено патентний пошук та систематизовані інноваційні рішення, що підвищують ефективність геліосистеми. Визначено загальні недоліки усіх конструкцій геліосистем та напрямки зусиль винахідників. Обґрунтовано, що для підвищення ефективності сонячних систем теплоперетворення значну роль відіграють алгоритми роботи та якісне налаштування контролерів, управління та використання регуляторів. Основною їх функцією є контроль теплофізичних параметрів геліосистеми та автоматичне прийняття рішення з управління електронними клапанами для забезпечення оптимальної температури теплоносія в усіх контурах. Обґрунтовано, що мають перспективу подальші дослідження впровадження багатоконтурних систем отримання теплової енергії від сонячного випромінювання в поєднанні з іншими джерелами отримання теплової енергії та ефективною системою акумулювання отриманої теплоти.

Ключові слова: вакуумні колектори, плоскі колектори, геліосистема, теплозабезпечення, гаряче водопостачання, ефективність, сонячна енергія.

SOLAR HEAT SUPPLY: VARIETIES OF CONVERSION SYSTEMS, EFFICIENCY

Received 05 Dec. 2022; accepted 27 Dec. 2022.
Available online 30 Dec. 2022

Sergii Zoshchenko¹

¹ Head's assistant. Institute of Renewable Energy
of the National Academy of Sciences of Ukraine,
Kyiv.

Author for correspondence: Sergii Zoshchenko,
e-mail: zoshchenkosergey@gmail.com

The use of solar energy in current conditions is one of the most affordable and popular energy-saving technologies that allows to significantly increase the efficiency of heat supply due to the fact that the energy obtained from the Sun is the cheapest and technologically available. The work considers the issue of using solar heat supply systems for heating needs of private houses, office premises and industrial premises. A classification of existing types of solar collectors is provided. A general analysis of the construction, principle of operation and composition of flat and vacuum solar collectors is given. The main thermophysical parameters that determine the efficiency of the solar system are substantiated. An analysis of the efficiency of flat and vacuum solar collectors for heating water in the hot water supply and heating system of buildings was performed. A patent search and systematized innovative solutions that increase the efficiency of the solar system have been conducted. General shortcomings of all heliosystem designs and directions of efforts of inventors are

established. It is concluded that in order to improve the efficiency of solar heat conversion systems, work algorithms and high-quality adjustment of control controllers and their use by regulators must play a significant role. Their main function is to control the thermophysical parameters of the heliosystem and automatically make a decision on the control of electronic valves in order to ensure the optimal temperature of the coolant in all circuits. It is justified that further research into the implementation of multi-circuit systems for obtaining thermal energy from solar radiation in combination with other sources of obtaining thermal energy and an effective system for accumulating the received heat has a perspective.

Keywords: vacuum collectors, flat collectors, solar system, heat supply, hot water supply, efficiency, solar energy.

Перелік використаних скорочень та позначень

USPTO –	United States Patent and Trademark Office (повнотекстова база даних патентного відомства США)	WIPO –	Всесвітня організація інтелектуальної власності
CPD –	Canadian Patents Database (пошукова система патентної служби Канади)	ЄАПВ –	Євразійське патентне відомство
Esp@cenet –	European Patent Office (Європейське патентне відомство)	SIPO –	державне відомство інтелектуальної власності Китайської Народної Республіки
EPO –	Європейська патентна організація	PAJ –	Patent Abstracts of Japan (бази даних Патентного відомства Японії)
		УКРПАТЕНТ –	база даних патентів України

Вступ. Енергоощадні технології є одним з основних засобів економії паливних ресурсів та захисту навколишнього середовища. Одним із найгостріших питань сьогодення, що стоїть перед світовим суспільством, є необхідність встановлення балансу між задоволенням сучасних потреб людства і захистом інтересів майбутніх поколінь [4]. Розв'язати цю проблему можна шляхом застосування автономного децентралізованого енергопостачання на основі відновлюваних джерел енергії. Використання сонячної енергії в сучасних умовах є однією з найдоступніших та найпопулярніших енергоощадних технологій, яка дозволяє значною мірою підвищити ефективність теплопостачання за рахунок того, що енергія, отримана від Сонця, є найдешевшою та технологічно доступною, завдяки чому споживач одержує в кілька разів більше теплової енергії, ніж може бути вироблено традиційним джерелом енергії, за ті самі кошти і, крім того, одержує автономію від загальної мережі теплопостачання [1].

Разом з тим ефективність роботи перетворювачів сонячної енергії на теплову суттєво залежить як від інтенсивності сонячного випромінювання в ту чи іншу пору року та часу доби, так і від ефективності системи перетворення сонячної енергії на теплову, яка своєю чергою визначається конструктивними особливостями самого сонячного геліоколектора, системи управління його роботою та акумулятора теплової енергії.

Це обумовлює необхідність проведення широкого спектра досліджень та впровадження нових інноваційних технічних рішень щодо визначення оптимального поєднання в одній теплонасосній системі трьох основних компонентів: відновлюваного джерела сонячної енергії, системи перетворення сонячної енергії на теплову та системи гарячого теплопостачання і опалення будівлі, яка складається з систем накопичення теплової енергії та опалювальних пристроїв різноманітної конструкції, що забезпечують передачу теплоти сонячного перетворювача до споживача.

Останніми роками питанням підвищення ефективності сонячних колекторів присвячена велика кількість досліджень. Перспективи застосування сонячних колекторів у світі та в Україні досліджені в роботах [6, 7]. Аналіз ефективності використання сонячного колектора наведено в роботі [3]. У роботах [2, 5] проведено оцінку впливу погодних умов на ефективність роботи геліосистеми. Автором [8] зроблено порівняльний аналіз сонячних колекторів різних конструкцій.

Постановка завдання. Об'єктом роботи є аналіз систем перетворення сонячної енергії на теплову (сонячних колекторів).

Мета роботи – дослідження ефективності пристроїв перетворення сонячної енергії на теплову; визначення оптимальних умов та режимів роботи пристроїв, що забезпечують передачу теплоти від теплоносія, нагрітого сонячним випромінюванням, та акумуляування теплової енергії, а також визначення їх конструктивних особливостей.

Відповідно до поставленої мети дослідження мають бути вирішені такі завдання:

1. Виконати класифікацію існуючих типів сонячних колекторів.
2. Зробити загальний аналіз побудови, принципу роботи та складу плоских та вакуумних сонячних колекторів.
3. Обґрунтувати основні теплофізичні параметри, що визначають ефективність геліосистеми.
4. Визначити конструктивні особливості геліосистеми, які потребують удосконалення для підвищення її ефективності.
5. Узагальнити інноваційні рішення, що підвищують ефективність геліосистеми та їх класифікацію.
6. Узагальнити результати дослідження.

7. Визначити перспективи подальших наукових розробок у цьому напрямку.

Виклад основного матеріалу. Системами сонячного теплопостачання називаються системи, що використовують як джерело теплової енергії сонячну радіацію. Їх характерною відмінністю від інших систем низькотемпературного опалення є застосування спеціального елемента – геліоприймача, призначеного для уловлювання сонячної радіації й перетворення її на теплову енергію.

За способом використання сонячної радіації системи сонячного низькотемпературного опалення розділяють на пасивні та активні.

У пасивних геліосистемах використання сонячної енергії здійснюється виключно за рахунок архітектурно-конструктивних рішень будівель.

Активними називаються системи сонячного низькотемпературного опалення, в яких геліоприймач є самостійним окремим пристроєм, що не належить до будівлі. Активні геліосистеми можуть бути поділені:

- за призначенням (системи гарячого водопостачання, опалення, комбіновані системи для цілей теплохолодопостачання);
- за видом теплоносія (рідинні – вода, антифриз і повітряні), що використовуються в системі;
- за тривалістю роботи (цілорічні, сезонні);
- за технічним рішенням схем (одно-, дво-, багатоконтурні).

Для активних систем сонячного опалення застосовують геліоприймачі двох типів: вакуумні та плоскі.

За часом застосування колектори поділяються на сезонні та демісезонні, при цьому перші здебільшого одноконтурні, а другі – двоконтурні.

Двоконтурною геліоустановкою є система, в якій між сонячним перетворювачем та акумулятором теплової енергії по замкненому контуру циркулює теплоносієм з низькою температурою замерзання.

Такі геліосистеми можуть бути багатоконтурними, для різних контурів можуть бути застосовані різні теплоносії (наприклад, в геліоконтурі – водні розчини незамерзаючих рідин, у контурах гарячого водопостачання – вода, а в контурі опалення будівлі – повітря).

Система акумулювання теплоти зазвичай містить резервуар, теплоакумулювальний матеріал, за допомогою якого здійснюється накопичення й зберігання теплової енергії, теплообмінні пристрої для підведення і відведення теплоти при зарядці й розрядці акумулятора і теплової ізоляції.

Акумулятори можна класифікувати за характером фізико-хімічних процесів, що протікають у теплоакумулювальних матеріалах:

- акумулятори ємного типу, в яких використовується теплоємність матеріалу (галька, вода, водні розчини солей та ін.), що нагрівається;
- акумулятори фазового переходу речовини, в яких використовується теплота плавлення (затвердіння) речовини;

– акумулятори енергії, засновані на виділенні й поглинанні теплоти при оборотних хімічних і фотохімічних реакціях.

Найпоширенішими є акумулятори теплоти ємного типу.

Як плоский, так і вакуумний сонячний колектор являють собою теплообмінник, призначений для нагріву рідини або газу за рахунок сонячної енергії.

Плоскі сонячні колектори складаються зі скляного або пластикового покриття (одинарного, подвійного, потрійного), теплоприймальної панелі, пофарбованої з боку, зверненого до Сонця, в чорний колір, ізоляції на зворотному боці й корпусу (металевого, пластикового, скляного, дерев'яного).

Досконалість колектора визначається його оптичним і тепловим ККД.

Оптичний ККД η_0 показує, яка частина сонячної радіації, що досягла поверхні скління колектора, виявляється поглиненою чорною поверхнею, що абсорбує випромінювання і враховує втрати енергії, пов'язані з поглинанням у склі, відбиванням і відмінністю коефіцієнта теплового випромінювання абсорбувальної поверхні від одиниці.

Тепловий ККД дорівнює відношенню кількості корисної теплоти $Q_{\text{кор}}$, відведеної від колектора за відведений час, до кількості енергії, що потрапляє до нього від Сонця за той же час:

$$\eta = \frac{Q_{\text{кор}}}{I \cdot S},$$

де:

S – площа колектора;

I – інтенсивність сонячної радіації.

Оптичний і тепловий ККД колектора зв'язані між собою відношенням:

$$\eta = \eta_0 - \frac{Q_{\text{втр}}}{I \cdot S}.$$

Теплові втрати характеризуються повним коефіцієнтом втрат:

$$U = \frac{Q_{\text{втр}}}{S \cdot (T_a - T_o)},$$

де:

T_a – температура чорної поверхні, яка абсорбує сонячну радіацію, К;

T_o – температура навколишнього середовища, К.

Найпростіший сонячний колектор з односкляним світлопрозорим покриттям, пінополіуретановою ізоляцією інших поверхонь і абсорбером, покритим чорною фарбою, має оптичний ККД близько 85 %, а коефіцієнт теплових втрат – близько 5-6 Вт м².

Сукупність плоскої сонцеголиальної поверхні та труб (каналів) для теплоносія утворює єдиний конструктивний елемент – абсорбер. Такий колектор влітку в

середніх широтах може нагріти воду до 55–60 °C і має денну продуктивність у середньому 70–80 л води з 1 м² поверхні нагрівача.

Для отримання вищих температур застосовують колектори з вакуумованих труб з селективним покриттям.

У вакуумному колекторі чорна сонцепоглиняльна поверхня відокремлена від навколишнього середовища вакуумованим простором (кожен елемент абсорбера розміщений в окремій скляній трубі, усередині якої створюється вакуум), що дозволяє практично повністю усунути втрати теплоти у навколишнє середовище за рахунок теплопровідності і конвекції. Втрати на випромінювання значною мірою знижуються за рахунок застосування селективного покриття. У вакуумному колекторі теплоносій можна нагріти до 120–150 °C. ККД вакуумного колектора істотно вище, ніж плоского колектора.

Ефективність роботи геліоенергетичних установок багато в чому залежить від оптичних властивостей поверхні, що поглинає сонячне випромінювання. Для зведення до мінімуму втрат енергії необхідно, щоб у видимій та ближній інфрачервоних областях сонячного спектра коефіцієнт поглинання цієї поверхні був якомога ближче до одиниці, а в області довжин хвиль власного теплового випромінювання поверхні до одиниці повинен прагнути коефіцієнт відображення. Отже, поверхня повинна мати селективні властивості – добре поглинати короткохвильове випромінювання і добре відображати довгохвильове.

За типом механізму, відповідального за вибірковість оптичних властивостей, розрізняють чотири групи селективних покриттів:

- власні;
- двошарові, в яких верхній шар має більший коефіцієнт поглинання у видимій області спектра і малим – в інфрачервоній області, а нижній шар – високим коефіцієнтом відображення в інфрачервоній області;
- з мікрорельєфом, що забезпечує необхідний ефект;
- інтерференційні.

Власною вибірковістю оптичних властивостей володіє невелика кількість відомих матеріалів, наприклад W, Cu₂S, HfC.

Найбільшого поширення набули двошарові селективні покриття. На поверхню, якій необхідно надати селективні властивості, наноситься шар з великим коефіцієнтом відбиття в довгохвильовій області спектра, наприклад мідь, нікель, молібден, срібло, алюміній. Поверх цього шару наноситься шар, прозорий у довгохвильовій області, але такої, що має високий коефіцієнт поглинання у видимій і ближній інфрачервоній областях спектра. Такими властивостями володіють багато оксидів.

Селективність поверхні може бути забезпечена за рахунок чисто геометричних факторів: нерівності поверхні мають бути більшими за довжину хвилі світла у видимій і ближній інфрачервоній областях спектра, і меншими за довжину хвилі, відповідної власному тепловому випромінюванню поверхні.

Така поверхня для першої із зазначених областей спектра буде чорною, а для другої – дзеркальною.

Селективними властивостями володіють поверхні з дендритною або пористою структурою при відповідних розмірах дендритних голок або пор. Інтерференційні селективні поверхні утворені декількома перемежованими шарами металу і діелектрика, в яких короткохвильове випромінювання гаситься за рахунок інтерференції, а довгохвильове – вільно відбивається.

Аналіз міжнародних патентних баз показує великий інтерес дослідників та конструкторів з усього світу до питань удосконалення існуючих систем перетворення сонячної енергії на теплову.

У ході дослідження автором було виконано пошук за патентними базами: USPTO – повнотекстова база даних патентного відомства США; Google Patent Search – база даних Google складається з патентів, що містяться в USPTO (United States Patent and Trademark Office); Canadian Patents Database (CPD) – пошукова система патентної служби Канади; Esp@cenet – Європейське патентне відомство (European Patent Office), БД: «Worldwide» – Європейської патентної організації (EPO) та Всесвітньої організації інтелектуальної власності (WIPO); ЄАПВ – Євразійське патентне відомство, яке має понад 30 локальних патентних баз даних; SIPO – державне відомство інтелектуальної власності Китайської Народної Республіки; Patent Abstracts of Japan (PAJ) – бази даних Патентного відомства Японії; УКРПАТЕНТ – база даних патентів України.

Визначено, що на сьогодні зареєстровано велику кількість патентів з перспективними методами високоефективного отримання теплової енергії від прямих перетворювачів сонячної енергії, зокрема за допомогою різноманітних додаткових девайсів та систем управління теплофізичними процесами, що відбуваються в системі. Впевнено можна сказати, що провідними країнами у галузі патентних розробок в цій галузі є США, Японія та Китай.

У вибірку для аналізу було довільно взято 43 патенти, зареєстровані у США, 37 патентів, зареєстрованих у Японії, 32 патенти, зареєстровані у Китаї, а також взято майже всі патенти, зареєстровані в Україні за останні п'ять років (за пошуковим запитом: МПК F24J 2/00) – 137 патентів.

Патенти були поділені на п'ять основних умовних груп:

- Особливості конструкції самого сонячного теплового колектора
- Методи та системи забезпечення оптимального кута положення системи по відношенню до Сонця
- Методи та системи розумного управління системою
- Методи та пристрої накопичення отриманої енергії

- Методи та системи комбінованого застосування сонячної та інших видів отримання теплової енергії

Виконаний автором дослідження патентний пошук показує, що:



Рис. 1. Основні групи патентів за технологіями та методами розробки газу метану з нетрадиційних аквальних формувань

Fig. 1. The main groups of patents for technologies and methods of methane gas development from unconventional aqua formations

Встановлено, що у відсотковому співвідношенні: 34 % – це інноваційні технічні рішення, що стосуються саме перетворювача сонячної енергії (конструкції корпусу та внутрішньої будови сонячного перетворювача, матеріалів, що застосовуються для поглинання сонячної енергії та мінімізації її втрат, особливостей циркуляції теплоносія та агрегатного стану самого теплоносія тощо); 25 % – методи та системи комбінованого застосування сонячної та інших видів отримання теплової енергії (як відновлюваної, так і традиційної); 17 % – це методи та пристрої накопичення отриманої енергії (за принципом конструкції та методом накопичення); 13 % – методи та системи розумного управління системою (застосування механічних та автоматичних систем управління в поєднанні з багатоходовими клапанами й датчиками температури, тиску та вологості, а також систем запобігання режиму стогнації); 11 % – методи та системи забезпечення оптимального кута положення системи по відношенню до Сонця (різноманітні трекири та концентратори).

Отриманий результат свідчить, що в усіх групах безумовно переважають авторські патенти, пов'язані з питаннями розробки самого приймача сонячної енергії. Навіть усередині самої цієї групи методів та пристроїв перетворення сонячної енергії на теплову, яка є найбільшою, існує свій поділ як на часто застосовувані авторами методи – традиційні (класичні), так і методи й технології, які передбачають одержання тих самих результатів, але використовують інші фізичні нетрадиційні підходи.

- Загальними недоліками усіх конструкцій геліосистем є:
 - залежність ефективності від часу доби, сезону та погодних умов;
 - залежність ефективності від місця розташування геліосистеми;
 - низька ефективність сонячного перетворювача;
 - необхідність адаптації системи управління до умов експлуатації;
 - висока залежність від системи накопичення теплової енергії.
- Основні зусилля винахідників направлені на:
 - удосконалення геліоприймача;
 - удосконалення системи накопичення теплової енергії;
 - удосконалення теплофізичних параметрів проміжного теплоносія;
 - розробка різноманітних систем стеження за сонцем та різноманітних концентраторів;
 - поєднання в одній системі декількох джерел енергії.

Висновки:

- Геліосистема (система перетворення сонячної енергії на теплову) є надійним, високоефективним та екологічно безпечним джерелом відновлюваної енергії для використання у системах опалення та гарячого водопостачання.
- Ефективність геліосистеми значною мірою залежить від інтенсивності сонячного випромінювання і незначною мірою – від температури зовнішнього повітря.

Найефективніше геліосистема працює у системі гарячого водопостачання, разом з тим може ефективно застосовуватися для попереднього нагріву води і в системах опалення будівель.

3. Система «повітряний ТН компресійного типу-фанкойл» в Україні на сьогодні недостатньо розповсюджена і переважно використовується на великих громадських об'єктах (торгові центри, кінотеатри і т. п.).
4. Проведений патентний пошук показує, що найбільша кількість інженерно-конструкторських розробок (34 %) пов'язана з удосконаленням конструкції саме сонячного перетворювача, а найменша кількість патентів (11 %) стосується систем автоматичного забезпечення оптимального кута розташування сонячного перетворювача по відношенню до Сонця.
5. Мають перспективу подальші дослідження впровадження багатоконтурних систем отримання теплової енергії від сонячного випромінювання в поєднанні з іншими джерелами отримання теплової енергії та ефективною системою акумулювання отриманої теплоти.

ПОСИЛАННЯ

1. Кудря С. О. Відновлювані джерела енергії. ІВЕ НАН України. Київ. 2020. 354 с.
2. Чорна В. О., Мельник О. Є., Омельченко О. В., Некрасов А. В., Федь М. Г. Дослідження впливу погодних умов на ефективність роботи фотоелектричної установки. Вчені записки ТНУ імені В. І. Вернадського. Серія: Технічні науки. 2018. № 29 (68). С. 119–124.
3. Бунько В. Я., Христенко Г. М. Дослідження ефективності роботи геліоколектора. Вчені записки ТНУ імені В. І. Вернадського. Серія: Технічні науки. 2021. № 2. С. 55–60.
<https://doi.org/10.32838/2663-5941/2021.2-2/09>
4. Зур'ян О. В. Експериментальні дослідження теплового режиму гідротермальної теплонасосної системи. Відновлювана енергетика. 2021. № 4 (67). С. 77–89.
[https://doi.org/10.36296/1819-8058.2021.4\(67\).77-89](https://doi.org/10.36296/1819-8058.2021.4(67).77-89)
5. Зур'ян О. В. Ефективність роботи пристрою для нагрівання води в системі гарячого водопостачання будівлі з використанням енергії сонячного випромінювання в зимовий період. Альтернативні джерела енергії. 2010. № 3–4. С. 22–26.
6. Матях С., Суржик Т., Рєзцов В., Іванчук В. Напрями та перспективи розвитку сонячної теплоенергетики. Відновлювана енергетика. 2021. № 3 (66). С. 33–44.
[https://doi.org/10.36296/1819-8058.2021.3\(66\)](https://doi.org/10.36296/1819-8058.2021.3(66))
7. Гламаздин П., Кіреєв Е. Перспективи використання досвіду Ізраїлю в сонячному гарячому водопоста-

чанні в Україні. Енергоефективність в будівництві та архітектурі. 2019. № 13. С. 69–78.

<https://doi.org/10.32347/2310-0516.2019.13>

8. Єсіпов О. В. Порівняльний аналіз сонячних колекторів. Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції ННІ механотроніки і систем менеджменту. Збірка тез. 2020. С. 70–72.

REFERENCES

1. Kudrya S. O. Vidnovlyuvani dzherela energiyi. [Renewal Energy]/ IVE NAN Ukrayiny. Kyiv. 2020. 354 p.
2. Chorna V. O., Melnyk O. Ye., Omelchenko O. V., Nekrasov A. V., Fed M. G. Study of the influence of weather conditions on the efficiency of photovoltaic installation. Academic notes of TNU named after V. I. Vernadskyi. Series: Technical Science. 2018. №. 29 (68). P. 119–124.
3. Bunko V. Ya., Khristenko H. M. Study of solar collector efficiency. Academic notes of TNU named after V. I. Vernadskyi. Series: Technical sciences. 2021. № 2. P. 55–60.
<https://doi.org/10.32838/2663-5941/2021.2-2/09>
4. Zuryan O. V. Experimental studies of the thermal regime of the hydrothermal heat pump system. Renewable energy. 2021. № 4 (67). P. 77–89.
[https://doi.org/10.36296/1819-8058.2021.4\(67\)](https://doi.org/10.36296/1819-8058.2021.4(67))
5. Zuryan O. V. Efficiency of the device for heating water in the hot water supply system of the building using the energy of solar radiation in the winter period. Alternative energy sources. 2010. № 3–4. P. 22–26.
6. Matyakh S., Surzhyk T., Rieztsov V. & Ivanchuk V. Directions and prospects for the development of solar thermal energy. Vidnovliuvana Energetyka. 2021. № 3 (66). P. 33–44.
[https://doi.org/10.36296/1819-8058.2021.3\(66\)](https://doi.org/10.36296/1819-8058.2021.3(66))
7. Glamazdin P., Kireev E. Prospects of using Israel's experience in solar hot water supply in Ukraine. Energy efficiency in construction and architecture. 2019. № 13. P. 69–78.
<https://doi.org/10.32347/2310-0516.2019.13>
8. Yesipov O. V. Comparative analysis of solar collectors. Materials of the All-Ukrainian Scientific and Practical Conference of the National Institute of Mechatronics and Management Systems. Collection of theses. 2020. P. 70–72.