

DOI: 10.20535/kpissn.2021.4.239236

УДК 620.92

Ю. М. Мацевитий¹, Я. М. Буштець^{2*}¹Інститут проблем машинобудування ім. А. М. Підгорного НАН України, Харків, Україна²ТОВ “Глобал Білгі”, Харків, Україна

*corresponding author: bushtetsyana@gmail.com

РІЗНОВИДИ ТА ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ СОНЯЧНИХ КОЛЕКТОРІВ

Проблематика. Енергетичний ресурс є одним із головних складників успішності країни, а можливість використання екологічно чистої та доступної відновлюваної енергії сонячного випромінювання є важливим завданням. Нині існує велике різноманіття геліосистем за технічним рішенням і сферами використання: термо- та фотоелектричні, сонячні станції для промислового чи приватного видобування електроенергії, гарячого водопостачання, опалення, кондиціонування повітря тощо. Але питання щодо ефективної інсоляції та вибору матеріалів для цих систем відкрите. Тому є актуальним розроблення дієвих сонячних колекторів (СК) з раціональними геометричними та теплофізичними параметрами.

Мета дослідження. Знайти та розробити СК з максимальною пропускною здатністю абсорбера та мінімізованими тепловтратами.

Методика реалізації. Аналіз патентів СК за їхньою формою та технічними характеристиками, розробка нової моделі СК.

Результати дослідження. Згідно з проведеним оглядом, нові розробки геліоколекторів відзначаються оригінальністю та новизною технічних рішень. Як матеріал абсорбера використовують гофровану трубу, сотовий полікарбонат, активоване вугілля, плутанку теплопровідного дроту; застосовують додаткове теплоакмуляційне покриття з розчином глауберової солі. Винаходи можна застосовувати в системах опалення та гарячого водопостачання, підігріву повітря приміщень і в обладнанні, що перетворює електромагнітне випромінювання сонця на теплову енергію для нагрівання рідкого теплоносія, а також на електроенергію. Для досягнення максимальної потужності колектора використовують прийнятну поверхню з покриттям із високою пропускною здатністю сонячної енергії, а для мінімізації тепловтрат додатково встановлюють теплоізоляцію. Розроблено та запатентовано принципово новий за геометричною формою сферичний СК.

Висновки. Розробка нових й удосконалення наявних СК забезпечує енергонезалежність як у приватному секторі, так і в масштабах країни, а також дає змогу дбати про довкілля. Розроблений сферичний СК однаково ефективно поглинає променисту енергію сонця протягом дня.

Ключові слова: використання сонячної енергії; сонячний колектор; абсорбер сонячного колектора; пропускна здатність абсорбера.

Вступ

Сонячний колектор – це пристрій для збору енергії випромінювання Сонця. З часів Ораса Бенедикта де Соссюра, швейцарського винахідника, автора прототипу СК – геліотермометра (сонячної печі) 1780 року – принцип дії СК майже не змінився. Але інтерес дослідників до розробки приладу з максимальним поглинанням та мінімальними втратами є достатньо високим – це показує вагома світова база патентів.

Учені працюють над матеріалом, формою та технічним призначенням СК.

Основою СК є поглинальний елемент – абсорбер, який з'єднаний з теплопровідною системою. За типом абсорбера СК поділяють на плоскі, вакуумні, коаксіальні та пір'яні.

Плоский СК – це металева пластина з поглинальним покриттям, подібним до “меандру” чи “арфи”, по якій циркулює теплоносій. Абсорбер укладають у корпус із прозорою лицьовою стінкою, через яку проникає сонячне випромінювання.

Рекомендуємо цитувати цю статтю так: Ю. М. Мацевитий, Я. М. Буштець, “Різновиди та технічні характеристики сонячних колекторів”, *Наукові вісті КІП*, № 4, с. 92–98, 2021. doi: 10.20535/kpissn.2021.4.239236.

Please cite this article as: Y. M. Matsevytyi, and Y. M. Bushtets, “Varieties and technical characteristics of solar collectors”, *KPI Science News*, no. 4, pp. 92–98, 2021. doi: 10.20535/kpissn.2021.4.239236.

нювання, а тильну стінку оснащують утеплювачем.

Вакуумний СК – це ряд паралельних прозорих трубчастих профілів. Вакуумна труба нагадує “термос” (у трубу з більшим діаметром вставляють трубу з меншим діаметром, між якими відкачують повітря). Завдяки вакууму вдається отримати майже повну теплоізоляцію. Внутрішню трубу встеляють високоселективним покриттям, що дає можливість виробляти енергію за мінусової температуридовкілля.

У коаксіальному СК у прозору скляну колбу вкладають мідну трубку-гільзу. Всередині трубки є рідина, що має низьку температуру кипіння, наприклад, вода під низьким тиском. Під впливом сонячних променів рідина (вода) нагрівається та закипає, а пара підіймається та надходить до теплообмінника, в якому нагріває теплоносії. Потім відбувається конденсація охолодженої пари на стінках теплообмінника. За потреби процес можна повторити.

Пір’яний вакуумний СК – це одностінна скляна колба, в якій товщина стінок більша, ніж у коаксіального СК. Розташований усередині колби абсорбційний елемент, який виготовляють із міді, додатково по всій довжині посилюють гофрованою пластиною (за формою нагадує перо), яка має високорівневе енергопоглинальне напilenня. Така конструктивна особливість дає змогу отримати вакуум безпосередньо в тепловому каналі.

Постановка задачі

Метою дослідження є знайти та розробити ефективні СК з максимальною пропускною здатністю абсорбера та мінімізованими тепловтратами. Навести світові розробки СК за їхньою формою та технічними характеристиками.

Аналіз конструкцій СК

За останні десять років патентна база України поповнилася цікавими технічними розробками СК.

Винахідники В. А. Істратов і Д. М. Раус запропонували конструкцію СК (рис. 1), що містить прозорий корпус напівсферичної форми 1 й абсорбер – чорну гофровану трубу 2, заповнену рідиною, фізико-хімічні властивості якої відповідають матеріалу труби щодо антиагресивності. Гофрована труба 2 розташована в корпусі спіралеподібно, стискаючись із внутрішньою поверхнею півсфери [1].

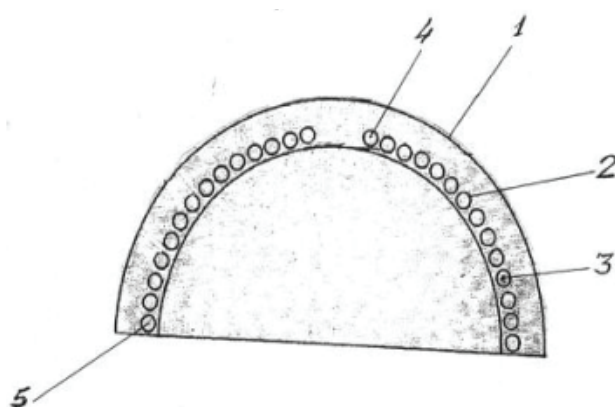


Рис. 1. Сонячний колектор (патент UA 73587 від 25.09.2012): 1 – світлопрозорий напівсферичний корпус; 2 – гофрована труба; 3 – теплоносії; 4, 5 – торці

Сонячні промені, потрапляючи на СК, проходять світлопрозорий напівсферичний корпус 1, виконаний із сотового полікарбонату з високою світлопроникністю, потрапляють на зовнішню поверхню абсорбера – чорної гофрованої труби 2, через стінку якої проходять до теплоносія 3 (води). Вода починає рух у трубі з торця 4, нагрівається та надходить із торця 5 до споживача. Модель можна використовувати в системах сонячного опалення та гарячого водопостачання.

Цікаву конструкцію СК (рис. 2) запропонували вчені з Українського державного хіміко-технологічного університету під головуванням К. М. Сухого. Тут поглиначем сонячної енергії є добре змочене активоване вугілля 2, що дає можливість ефективно використовувати природну циркуляцію теплоносія завдяки капілярним силам [2].

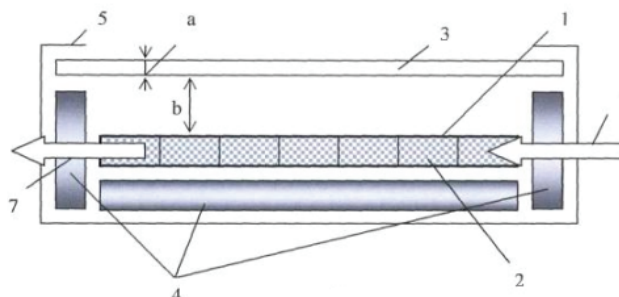


Рис. 2. Сонячний колектор (патент UA 53855 від 25.10.2010): 1 – абсорбер; 2 – активоване вугілля; 3 – світлопрозоре огороження; 6, 7 – торці

Принцип колектора роботи такий: сонячні промені через світлопрозоре огороження 3

потрапляють на абсорбер 1, виготовлений із сотового полікарбонату, в якому активоване вугілля 2 поглинає сонячну енергію та передає як теплову енергію до теплоносія. З торця 6 теплоносія входить в абсорбер колектора 1, нагрівається та виходить із торця 7.

Оригінальною є й пропозиція від колег із Національного авіаційного університету. Запропонований СК (рис. 3) містить систему паралельних скляних колб 3 з чорною трубою 1 всередині, в якій протікає рідина типу антифризу. До чорної труби 1 на виході скляної колби 3 підключений теплопередавач 5 – теплоізолювана труба – та помпа 4, яка перекачує гарячий антифриз у теплообмінник, до якого можна підвести гаряче водопостачання та центральне опалення. Сонячні батареї 6, установлені під нахилом до паралельно розташованих скляних вакуумних колб 3, віддзеркалюють сонячні промені задля нагрівання колб 3. У торцях розташовані з'єднані з сонячними батареями додаткові поверхні 7, що віддзеркалюють, змінюючи нахил за допомогою електромоторів EM1 і EM2 та приводу управління електромоторами, який містить таймер і вимірювач інтенсивності сонячного випромінювання [3].

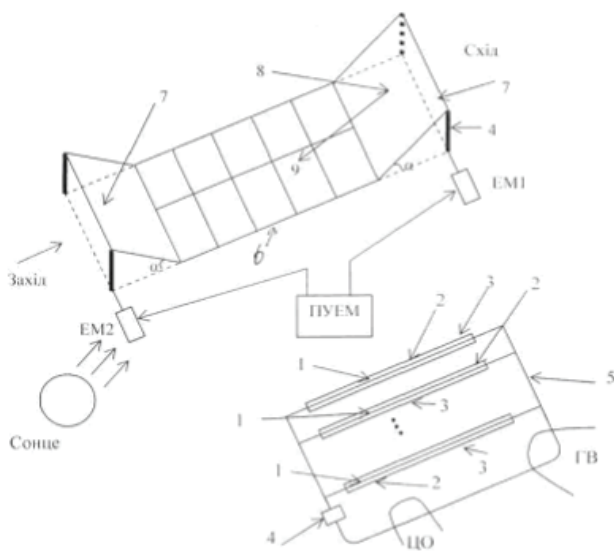


Рис. 3. Сонячний колектор із фокусувальними управляючими дзеркалами (патент UA 99699 від 25.06.2015): 1 – труба; 2 – вакуум; 3 – скляні колби; 4 – помпа; 5 – теплопередавач; 6 – сонячні батареї, 7 – віддзеркалювальні поверхні

Група винахідників з Волинської області СК (рис. 4), який складається з вакуумної трубки 1 і теплової трубки 2, оберненої плутанкою

теплопровідного дроту 3 з енергопоглинальним покриттям. Сонячні промені проходять через стінку скляної трубки 1 і потрапляють на енергопоглинальне покриття дроту 3, перетворюючись на тепло, яке переходить безпосередньо до теплової трубки. Відбивання світла на поверхнях ділянок плутанки теплопровідного дроту 3 створює тепловий ефект [4]. Сонячний колектор можна використовувати в пристроях, що переробляють електромагнітне випромінювання сонця в теплову енергію для нагрівання рідкого теплоносія, а також в електричну енергію.

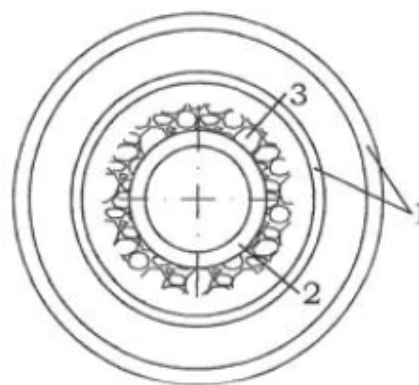


Рис. 4. Переріз трубки СК (патент UA 117717 від 10.07.2017): 1 – вакуумна трубка; 2 – тепла трубка; 3 – плутанка теплопровідного дроту

Учені з Національного університету “Львівська політехніка” запропонували для обігрівання житлових приміщень систему повітряного опалення [5] (рис. 5), яка містить плоский сонячний колектор 1, з’єднаний гнучкою вставкою 2 з повітропроводом 3, на вході якого встановлено вентилятор 5. Із зовнішнього боку повітропровід 3 утеплений шаром теплоізоляційного матеріалу 4, а з внутрішнього – теплоакмуляційним покриттям 6 – матрицею з шаром теплоізоляційного матеріалу 11 із насиченим розчином глауберової солі 10 – і знизу обмежений підвісною стелею 7 із повітророзподільними отворами 8 і регульовальними заслінками 9. Система повітряного опалення працює так: нагріте в плоскому сонячному колекторі 1 повітря через гнучку вставку 2 надходить за допомогою вентилятора 5 у повітропровід 3. Далі повітря проходить через теплоакмуляційне покриття 6 і через повітророзподільний отвір 8 надходить у приміщення, яке обігрівають. Якщо обігрівати не потрібно, регульовальну заслінку 9 закривають, а тепло накопичується теплоакмуляційним покриттям 6.

За температури повітря довкілля вище за 32 °С розчин глауберової солі перетворюється на рідину, а за температури до 20 °С і нижче відбувається фазовий перехід речовини з вивільненням тепла, внаслідок якого розчин кристалізується.

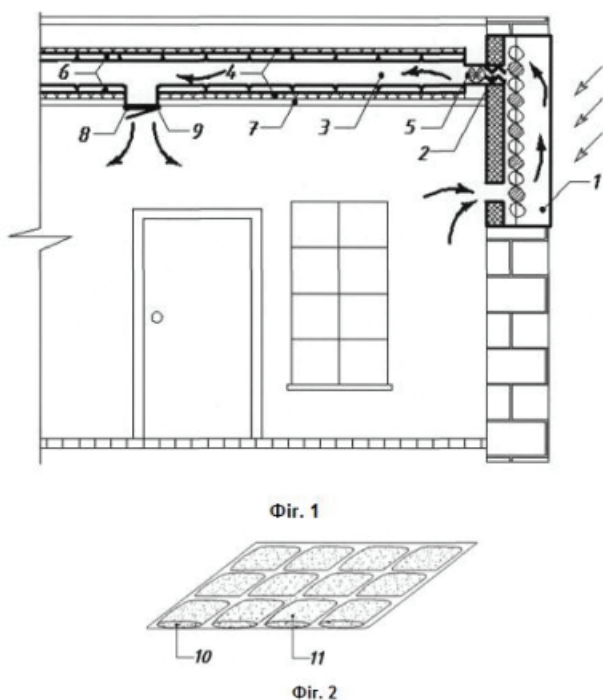


Рис. 5. Система повітряного опалення (а) та матриця з насиченим розчином глауберової солі (б) (патент UA 113039 від 10.01.2017): 1 – плоский сонячний колектор; 2 – гнучка вставка; 3 – повітропровід; 4 – шар теплоізоляційного матеріалу з зовнішнього боку; 5 – вентилятор; 6 – теплоакumuляційне покриття; 7 – підвісна стеля; 8 – повітророзподільні отвори; 9 – регульовальні заслінки; 10 – насичений розчин глауберової солі; 11 – шар теплоізоляційного матеріалу з внутрішнього боку

Винахідник із Греції запропонував СК (рис. 6), який складається з теплопровідної пластини 3, прикріпленої до задньої частини поверхні сонячного теплового поглинача 1 і встановленої на трубах 2 з теплоносієм, що поступає до будь-якого СК, збільшуючи індукційну поверхню та площу теплопокриття [6].

Розробник із Канади запропонував конструкцію [7], сегмент якої показано на рис. 7. Сонячні промені, відбиваючись від параболічної стінки 2, потрапляють на трубу 3 з теплоносієм. Наведену конструкцію можна обладнати додатково системою обертання навколо горизонтальної осі 4 та підсилити встановленням внутрішньої труби 3.

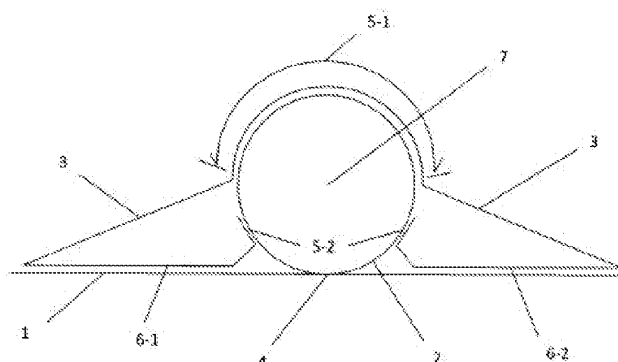


Рис. 6. Сонячний колектор (патент GR 20190100215 від 15.12.2020): 1 – сонячний тепловий поглинач; 2 – труби; 3 – теплопровідна пластина.

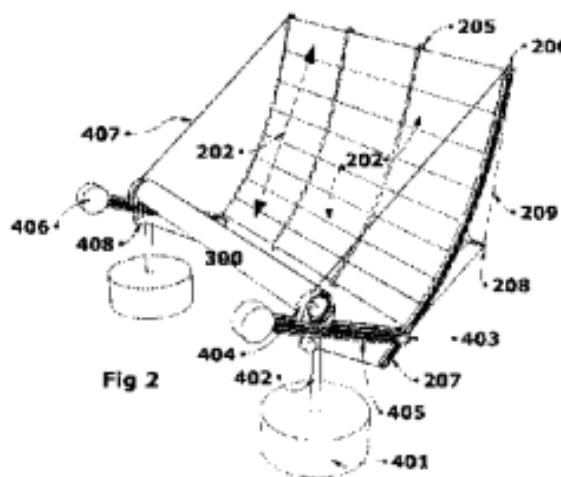


Рис. 7. СК (патент WO 2021119795 від 24.06.2021): 1; 2 – параболічна стінка; 3 – труба з теплоносієм; 4 – система обертання навколо горизонтальної осі

Винахідники з Казахстану запропонували таке технічне рішення (рис. 8). Сонячну енергію поглинає геліоколектор 1, вона проходить через ізоляційний прозорий склопакет 2, нагріває в трубах 3 воду, яку видаляють із колектора, а на її місце надходить холодна вода з трубопроводу з вентилям для холодної води 8, а з сифона 7 бака-дозатора 9 відбувається постійна термосифонна циркуляція за допомогою циркуляційної труби 10. Далі рідина потрапляє в тепловупомпу 11, яка складається з випарника 12 конденсатора, в якому теплообмінник виконаний як спіраль, поглинаючи тепло теплоносія, опускає його температуру нижче температури атмосферного повітря за допомогою дросельного клапана 14, сприяючи додатковому поглинанню тепла з атмосферного повітря.

У тепловій pompі енергія теплоносія з відносно низькою температурою переходить до теплоносія теплообмінника конденсатора 15 як спіралі з вищою температурою, що збільшує інтенсивність теплообміну. Для здійснення такого циклу використовують компресор 13 з електроприводом 17. Далі за допомогою теплообмінника конденсатора 15 тепло від теплової помпи передають у бак-акумулятор теплообмінника системи опалення 18. Установка має два контури з автоматичними циркуляційними помпами 19 і 20 для циркуляції рідини між геліоколекторами та випарником, а також між конденсатором і бак-акумулятором. Температуру води доводять до необхідного технологічного рівня та подають її до споживача для гарячого водопостачання й опалення [8].

В Інституті проблем машинобудування ім. А. М. Підгорного нами розроблено та запатентовано [9] принципово новий за геометричною формою сферичний СК (рис. 9, а). Він містить теплоприймач 1, виконаний із навитої сферичною гвинтовою лінією єдиної металевої трубки, на яку нанесено селективне світлопоглинальне покриття. Теплоприймач 1 розміщено всередині вакуумованої скляної сфери 2, що складається з двох півсфер, герметично встановлених у профільній прокладці 3 з вакуумної гуми. Підвідний і відвідний патрубки теплоприймача

1 герметично ущільнені у втулках 4, також виконаних із вакуумної гуми. Усередині профільної прокладки 3 (рис. 9, б) вбудовано опукле дзеркало 5 як кульовий пояс із радіусом R , рівним радіусу внутрішньої сфери теплоприймача, та висотою, рівною висоті профільної прокладки 3. З внутрішньої порожнини сфери 2 відкачано повітря зі ступенем вакууму, якого зазвичай досягають у промисловості. Сфера 2 з розміщеним усередині теплоприймачем 1, профільною прокладкою 3 та втулками 4 встановлена вертикально у двоплечовому кронштейні 6.

На вхід у підвідний патрубок надходить (показано стрілкою) холодний рідкий теплоносії (вода), що рухається гвинтовою лінією теплоприймача 1 і виходить через відвідний патрубок. Під час руху теплоносії постійно нагрівається променистою сонячною енергією, що впливає через прозору сферу 2 на селективне світлопоглинальне покриття трубчастого теплоприймача 1. Сонячні промені протягом світлового дня, проникаючи між витками теплоприймача 1, потрапляють на різні ділянки ввігнутого назовні сферичного дзеркала 5 і відбиваються у напрямку внутрішніх затієних ділянок витків теплоприймача 1. Вакуум у прозорій сфері практично повністю виключає тепловтрати в теплоприймачі 1.

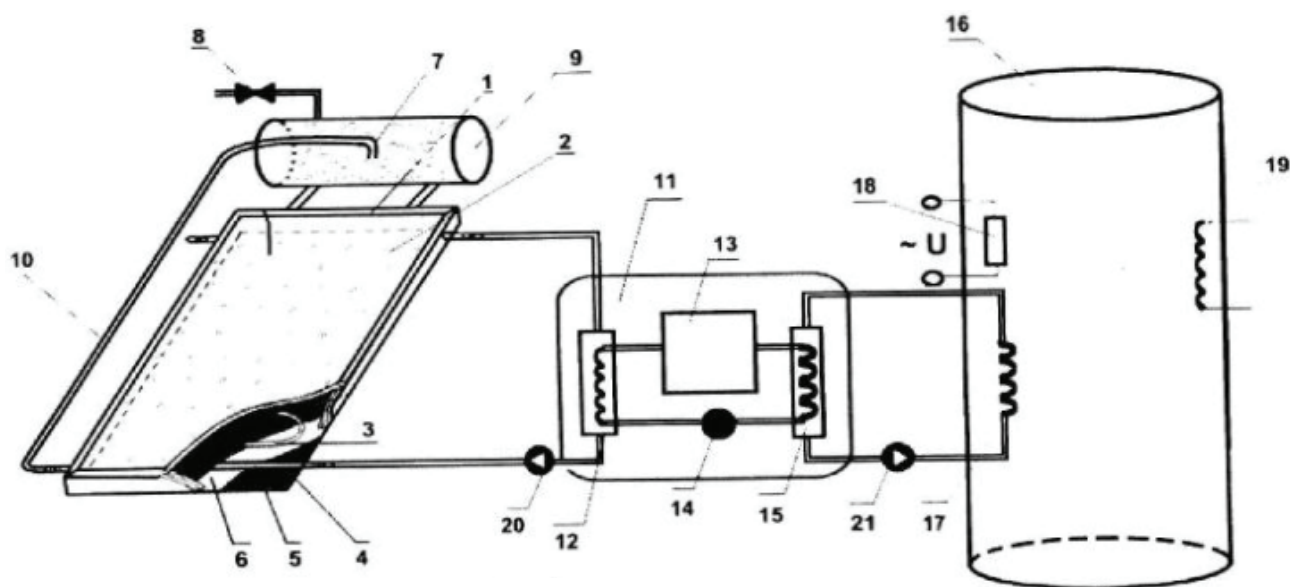


Рис. 8. СК (патент KZ 33741 від 02.07.2019): 1 – геліоколектор; 2 – ізоляційний прозорий склопакет; 3 – труби; 4; 5; 6; 7 – сифон; 8 – вентиль для холодної води; 9 – бак-дозатор; 10 – циркуляційна труба; 11 – тепла помпа; 12 – випарник; 13 – компресор; 14 – дросельний клапан; 15 – теплообмінник конденсатора; 16; 17 – електропривід; 18 – бак-акумулятор теплообмінника системи опалення; 19, 20 – автоматичні циркуляційні помпи

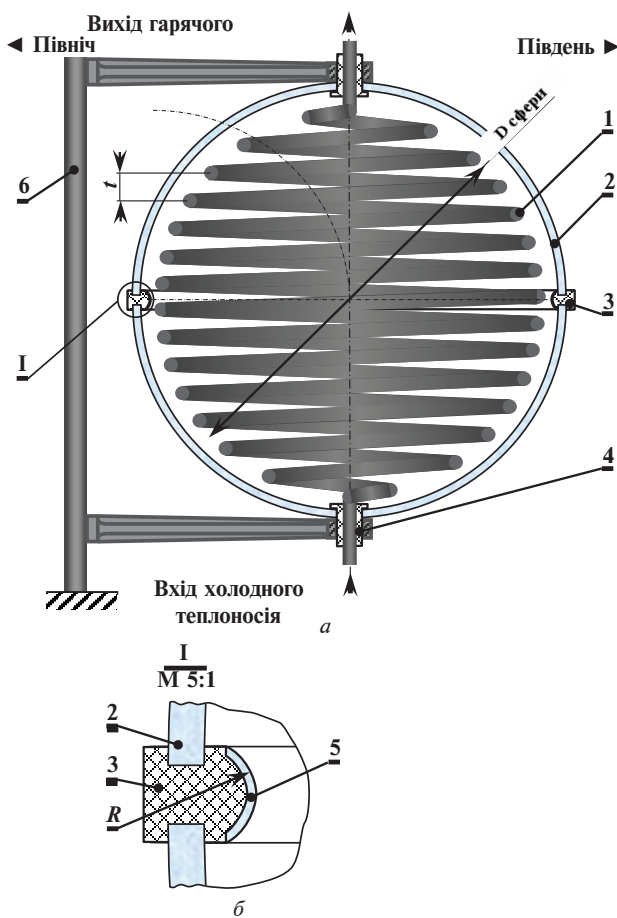


Рис. 9. Конструкція сферичного СК (а) та профільна прокладка (б): R – радіус; 1 – теплоприймач; 2 – вакуумована скляна сфера; 3 – профільна прокладка; 4 – втулки; 5 – опукле дзеркало; б – двоплечовий кронштейн

Далі гарячий теплоносій надходить для споживання (бак-акумулятор, опалення, гаряче водопостачання тощо). Вертикальне розташування входу та виходу трубчастого теплоприймача 1 у двоплечовому кронштейні б дає змогу знизити

гідроопір рідкого теплоносія, що проходить через нього.

Оскільки кривизна скляної сфери запропонованого колектора в десятки разів менша за кривизну скляних трубок плоского СК, знижується відбивна та підвищується пропускна здатність сонячних променів. Сферична форма не вимагає будь-яких додаткових механізмів, щоб слідкувати за рухом сонця. Завдяки такій формі колектор постійно «стежить» за ним, тобто фактично однаково сприймає променисту енергію сонця, коли воно рухається небосхилом на різній висоті та під різними кутами азимута. Площа під установлення сферичного колектора майже вчетверо менша за площу під монтаж плоского колектора.

Висновки

Згідно з оглядом, нові розробки геліоколекторів відзначаються оригінальністю та новизною технічного рішення. Як матеріал абсорбера застосовують гофровану трубу, сотовий полікарбонат, активоване вугілля, плутанку теплопровідного дроту, додаткове теплоаккумуляційне покриття з розчином глауберової солі. Винаходи можна застосовувати в системах опалення та гарячого водопостачання, в підігріві повітря приміщень і в обладнанні, що перетворює електромагнітне випромінювання сонця на теплову енергію для нагріву рідкого теплоносія, а також – на електричну енергію.

Авторами статті створено та запатентовано сферичний СК. Сферична форма дає змогу ефективно використовувати його протягом дня. Завдяки такій конструкції колектор однаково сприймає променисту енергію сонця, коли воно «рухається» небосхилом на різній висоті та під різними кутами азимута.

References

- [1] Solar collector, by V. A. Istratov, and D. M. Raus. (2012, Sep. 25). UA Patent 73587 [Online]. Available: <https://base.uipv.org/searchINV/>
- [2] Solar collector, by M. P. Sukhyi, Y. M. Kozlov, and K. M. Sukhyi. (2010, Oct. 25). UA Patent 53855 [Online]. Available: <https://base.uipv.org/searchINV/>
- [3] Solar collector with focusing control mirrors, by V. M. Syniehlazov et al.. (2015, Jun. 25). UA Patent 99699 [Online]. Available: <https://base.uipv.org/searchINV/>
- [4] Solar collector, by S. A. Mironov, V. I. Reshetnikov, A. A. Mironov, and V. V. Polovets. (2017, Jul. 10). UA Patent 117717 [Online]. Available: <https://base.uipv.org/searchINV/>
- [5] Air heating system, by V. M. Zhelykh, and Kh. R. Kozak. (2017, Jan.10). UA Patent 113039 [Online]. Available: <https://base.uipv.org/searchINV/>

- [6] Lamella for solar collector's heat transfer, by F. M. Athanasiou. (2020, Dec. 15). GR Patent 20190100215 [Online]. Available: https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=GR317308168&_cid=P22-KR945M-88396-2
- [7] Solar energy collector, by R. De Chazal. (2021, Jun. 24). WO Patent 2021119795 [Online]. Available: https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=WO2021119795&_cid=P22-KR94A3-89006-1
- [8] Dual-circuit solar unit with thermosiphon circulation, by E. N. Amerhaliiev, M. M. Kunelbaev, O. A. Auelbekov, N. S. Kataiev, A. U. Kalizhanova, and A. Kh. Kozbakova. (2019, Jul. 2). KZ Patent 33741 [Online]. Available: https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=KZ320873366&_cid=P22-KR94ED-89540-1
- [9] Spherical solar collector, by A. I. Tsentsyper, M. O. Safonov, S. F. Lushpenko, and Y. M. Bushtets. (2014, Apr. 10). UA Patent 105112 [Online]. Available: <https://base.uipv.org/searchINV/>

Yu. M. Matsevytyi, Ya. M. Bushtets

VARIETIES AND TECHNICAL CHARACTERISTICS OF SOLAR COLLECTORS

Background. Energy resource is one of the main components of a successful country. The possibility of using environmentally clean and affordable renewable energy and creating systems for taking solar radiation is a priority in ensuring the economic energy independence of the state. At present, there are a variety of solar systems according to the technical solution and their use: thermo- and photovoltaic, systems with metal absorbers, solar stations for industrial or private electricity generation, for hot water supply, heating, air conditioning, and other technological needs. But questions about effective insolation and the choice of materials for these systems remain open. Therefore, the development of efficient solar collectors (SC) with a rational choice of their geometric and thermophysical parameters is absolutely relevant.

Objective. The purpose of the paper is to explore and develop efficient devices with maximum absorber throughput and minimization of heat loss.

Methods. Analysis of developments of solar collectors by their shape and technical characteristics.

Results. According to the review, new developments of solar collectors are marked by the originality and novelty of the technical solution. Corrugated pipe, cellular polycarbonate, activated carbon, a tangle of heat-conducting wire are used as the absorber material, and the additional heat-accumulating coating – a solution of Glauber's salt is applied. The inventions can be used in heating and hot water supply systems, indoor air heating, and in equipment that converts electromagnetic radiation from the sun into thermal energy for heating liquid coolants, as well as into electrical energy. For the maximum power of the collector, a receiving surface with a coating of high solar energy capacity is used and thermal insulation is additionally installed to minimize heat loss. The authors of the article developed and patented a fundamentally new geometric spherical SC.

Conclusions. The creation of new and improvement of existing SC ensures energy independence both in the private sector and nationwide, as well as to take care of the environment. The spherical shape allows you to use it effectively during the day.

Keywords: solar energy utilization; solar collector; solar collector absorber; throughput of the absorber.

Рекомендована Радою
Інституту проблем машинобудування
ім. А.М. Підгорного НАНУ

Надійшла до редакції
26 серпня 2021 року

Прийнята до публікації
14 лютого 2022 року