

О. М. Мандрик, В. І. Іванов
Івано-Франківський національний
технічний університет нафти і газу

РОЗРОБЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ПЛОСКОГО СОНЯЧНОГО КОЛЕКТОРА ЗІ СПЕЦІАЛЬНО ОБРОБЛЕНОЮ ПОВЕРХНЕЮ АБСОРБЕРА

Представлено результати натурних, експериментальних і теоретичних досліджень щодо визначення ступеня селективності абсорбера залежно від мікрошорсткості та форми поглинальної поверхні.

Ключові слова: сонячний колектор, абсорбер, селективність.

Представлены результаты натурных, экспериментальных и теоретических исследований по определению степени селективности абсорбера в зависимости от микрошероховатости и формы поглощающей поверхности.

Ключевые слова: солнечный коллектор, абсорбер, селективность..

The article presents the results of the full-scale experimental and theoretical studies on determination of the degree of selectivity of the absorber depending on the surface microroughness and form of the absorption surface of the solar collector.

Key words: solar collector, absorber, selectivity

Актуальність роботи. Значне зростання ціни на природний газ, як для економіки, так і для населення країни значно вплинуло на всі сфери життя людей, поставило серйозні проблеми перед урядом держави. Необхідно швидко шукати альтернативу природному газу, використовуючи вітчизняні та зарубіжні розробки і досвід. Використання нетрадиційних та відновлювальних джерел енергії (НВДЕ) науковцями розглядається як один із найбільш перспективних шляхів вирішення зростаючих проблем енергозабезпечення. Наявність невичерпної ресурсної бази, екологічна безпека та «чистота» НВДЕ є основними перевагами в умовах вичерпання ресурсів органічного палива та зростаючих темпів забруднення довкілля [1-3].

На сьогодні, частка НВДЕ у світовому виробництві енергії є незначною ($\approx 15\%$), однак їх потенціал значно перевищує рівень світового споживання паливно-енергетичних ресурсів. В Україні існує значний потенціал використання НВДЕ, частка якої в енергетичному балансі країни становить лише 7,2%, з яких 0,8% – відновлювальні джерела. Тому задля забезпечення енергетичної незалежності та економічного зростання держави необхідно активізувати вирішення цієї актуальної проблеми.

За відомостями [8] сонячна енергетика України має дещо обмежені можливості використання в залежності від погоди, широти розташування території регіону (рис. 1).

Одним з інноваційних напрямків модернізації систем тепlopостачання, що дозволяє скоротити енерговитрати, є використання сонячних колекторів. Сонячні колектори використовують для забезпечення об'єктів (приватні будинки, багатоповерхові будинки, промислові та громадські будівлі) гарячою водою, а також частково – для опалення, підігріву води в басейнах, сушіння сільськогосподарської продукції, приготування їжі, та кондиціонування повітря.

За кліматичними умовами Україна належить до регіонів із середньою інтенсивністю сонячної радіації. Кількість енергії, яка надходить на одиницю площі, складає 1000 – 13500 кВт год/м². Реалізовані за останні роки проекти [4, 5] показали, що річне вироблення теплової енергії колекторами складає 500 – 600 кВт год/м².

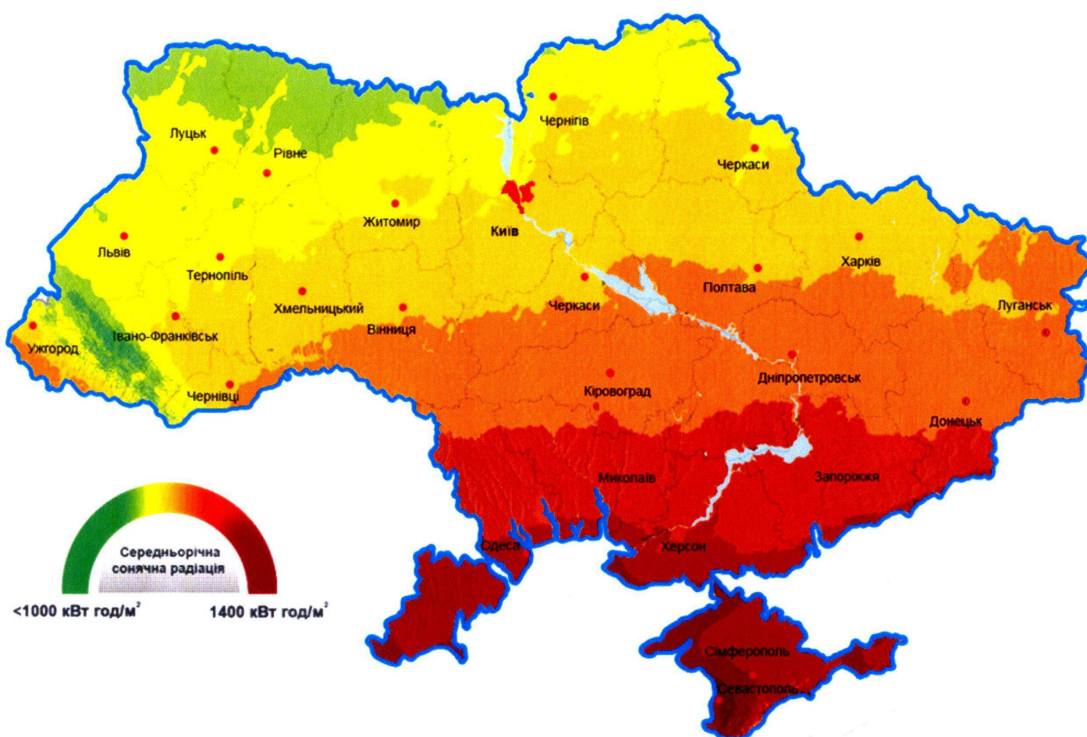


Рис. 1. Енергетичний потенціал сонячної енергії на території України [8]

Порівняльні дослідження показали, що використання сонячних колекторів на 60-70% зменшує витрати на гаряче водопостачання та на 10-20% – на опалення.

З урахуванням норми використання сонячних колекторів на Заході України, що дорівнює 1 м^2 на людину, річний ресурс сонячного гарячого водопостачання міг би становити $45,0 \text{ млн осіб} \times 500 \text{ кВт год/м}^2 \approx 23 \text{ млрд кВт год}$.

В Україні населення та теплогенерувальні організації використовують близько 17 млрд м^3 природного газу на рік. Більше 30% газу використовують на гаряче водопостачання. Сонячні колектори можуть зменшити споживання газу на 50%, що становить 2,5 млрд м^3 . Вони дозволяють зменшити також викиди шкідливих газів, що покращить рівень забруднення навколишнього середовища України.

Для цього потрібно встановити 45 млн м^2 сонячних колекторів. Однак, це величезний, довгостроковий обсяг роботи, створення сотні тисяч робочих місць. Для реалізації цього потрібна державна підтримка на всіх рівнях: законодавчому, адміністративному тощо. Тому, для широкого впровадження сонячної енергетики в Україні, необхідно налагодження вітчизняного масового виробництва сонячних колекторів. Колектори бажано виготовляти стовідсотково з вітчизняних матеріалів та комплектуючих. За технічними характеристиками вони не мають поступатися зарубіжним, але бути значно дешевшими в ціні, доступними для більшості населення України. Вчені та інженери університету намагались вирішити це завдання: розроблено нову конструкцію плоского сонячного колектора, що немає аналогів. Сонячний колектор виготовлено повністю з вітчизняних матеріалів, що за ціною в 2,5-4 рази дешевше, ніж зарубіжні. При багатосерійному виробництві вартість колектора можна зменшити.

Мета й завдання дослідження. Робота спрямована на експериментальне вивчення ефективності роботи запропонованого сонячного колектора під час його дослідження в натурних умовах для помірного клімату, зокрема для м. Івано-Франківська.

Результати досліджень та їх обговорення. Плоский сонячний колектор (рис. 2) складається з сталюого коробчастого корпусу 1 із прозорою скляною кришкою 2, яка зафіксована штапиками 3, що саморізами 4 прикручені до корпусу 1. Абсорбер 5

розміщений у корпусі 1 і теплоізований знизу та з боків пінополістиролом 6. Між скляною кришкою 2 і абсорбером 5 встановлена прозора термостійка полімерна плівка 7. До верхнього листа абсорбера 5 припаяні вхідний 8 і вихідний кутові фітінги, в які закручені нижній вхідний патрубок 9 і верхній вихідний патрубок 10. Форма поперечного перерізу паралельних циркуляційних каналів має вигляд зрізаної піраміди з кутом нахилу твірної до осі $\gamma = 60^\circ$.

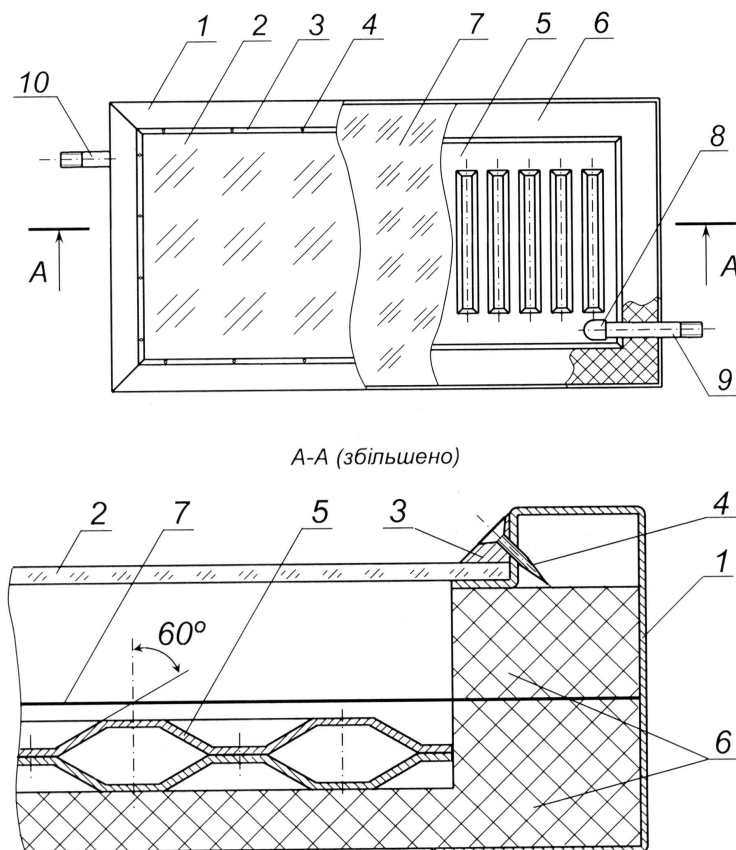


Рис. 2. Конструкція плоского сонячного колектора

примусова циркуляція теплоносія за допомогою циркуляційного насоса. Нагрітий теплоносій через верхній вихідний патрубок 10 подається до споживача, від якого повертається охолодженим і через нижній вхідний патрубок 9 надходить до абсорбера 5. Прозора полімерна термостійка плівка 7 та пінополістирол 6, який має низьку теплопровідність, низьку щільність і високу водостійкість, зменшують втрати теплоти.

Плоский сонячний колектор пройшов заводські випробування і показав високі технічні характеристики нарівні із закордонними моделями. Для порівняння було використано сонячний колектор німецької фірми “Wolf”.

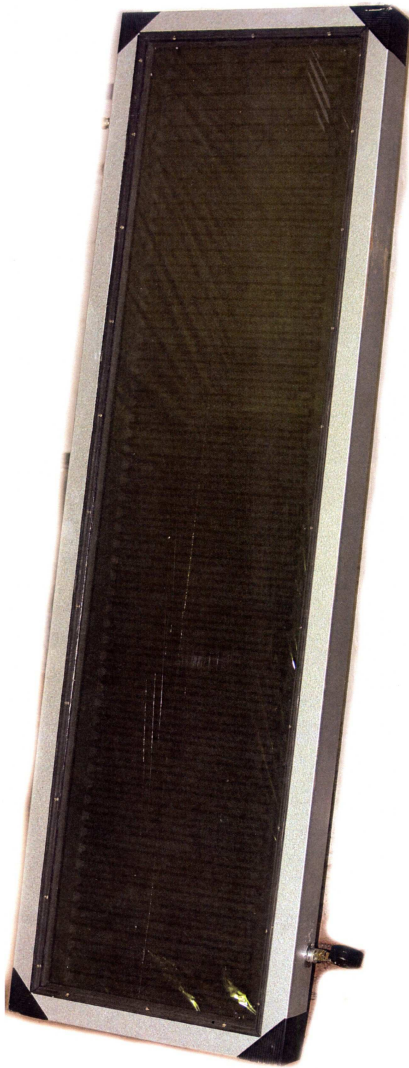
На відміну від зарубіжних конструкцій [6], де для виготовлення корпусу та абсорбера використовують кольорові дорогі матеріали, у запропонованому колекторі корпус виготовлено зі сталевого листового профілю з алюмоцинковим покриттям. Абсорбер виготовлено з чорної листової сталі, в якій виштампувані канали для циркуляції теплоносія та колекторна частина. Канали в перерізі мають форму усіченої піраміди, що дає можливість ефективно нагрівати теплоносій з ранку до вечора, не повертаючи колектор. Між основними каналами є мікроканали, через які також циркулює теплоносій.

Отже, майже вся поверхня абсорбера віддає тепло теплоносію, що збільшує ефективність роботи колектора [7].

Плоский сонячний колектор працює наступним чином. Його закріплюють, наприклад, на даху споруди, а нижній вхідний патрубок 9 і верхній вихідний патрубок 10 приєднують до трубопроводів системи гарячого водопостачання або опалення. Сонячне проміння крізь прозору скляну кришку 2 та прозору термостійку полімерну плівку 7 потрапляє на зовнішню поверхню обробленого селективним покриттям абсорбера 5, що забезпечує максимальне поглинання теплоти при мінімальному рівні відбивання сонячних променів. При цьому відбувається нагрівання абсорбера 5, від якого теплота передається теплоносію. За рахунок різниці температур, та відповідно різниці густин теплоносія в зоні нижнього вхідного патрубка 9 і верхнього вихідного патрубка 10 створюється циркуляція теплоносія. Також можлива

Основною частиною в конструкції колектора є абсорбер, який поглинає сонячне випромінювання та в якому циркулює теплоносій. Тому, важливо розглянути фізичну основу процесу нагрівання поверхні абсорбера (рис. 3).

Поверхню абсорбера оброблено спеціальним інструментом так, що виступи мікронерівностей шорсткості мають пірамідальну форму, що забезпечує максимальне поглинання сонячного випромінювання. Ця поверхня покрита чорним цинком, що збільшує її селективність та забезпечує корозійну стійкість.



Технічні характеристики сонячного колектора «СК-ССЕД-1»:

Габаритні розміри: 2112x612x100 мм.

Вага – 38 кг.

Загальна площа – 1,3 м².

Апертурна площа – 1,1 м².

Поглиняльна здатність – 0,94.

Відбивальна здатність – 0,11.

Пропускна здатність прозорої ізоляції – 0,9.

Кількість шарів прозорої ізоляції – 2.

Прохідний переріз патрубків – 18 мм.

Максимальний тиск – 8 бар.

Об'єм теплоносія – 2,9 л.

Коефіцієнт тепловтрат внаслідок теплопередачі – 3,44 Вт/м²·с.

Коефіцієнт тепловтрат внаслідок випромінювання – 0,016 Вт/м²·с.

Прозора ізоляція – скло 5 мм.

Коефіцієнт корисної дії – 0,75.

Температура стагнації – 159 °С.

Теплоносій – пропіленгліколь / «Тепро».

Продуктивність – 60 літрів/добу з температурою 45° – 65 °С.

Теплоізоляція – скловолокно фольговане товщиною 50 мм.

Селективне покриття – чорний цинк.

Максимальна потужність – 750 Вт.

Корпус – листовий металевий профіль з алюмоцинковим покриттям.

Абсорбер – листова оцинкована сталь з виштампуваними каналами з формою усіченої піраміди.

Рис. 3. Плоский сонячний колектор

Поглиняльна властивість у діапазоні сонячного випромінювання $\alpha_c=0,9$, випромінювальна властивість у діапазоні інфрачервоного випромінювання $\rho_T=0,1$.

На сонці предмети нагріваються в результаті поглинання енергії сонячного випромінювання. Для пояснення цього явища використовуємо квантову теорію. Ця теорія виходить з визнанням подвійної природи часток (частка – хвиля).

Суттєвим моментом квантової теорії є положення про те, що енергія будь-якої системи, яка проявляє хвильові якості, може змінюватися лише дискретно окремими елементарними порціями, які називають квантами. Енергія кванта прямо пропорційна частоті відповідного коливання. Якщо хвиля довжиною λ розповсюджується з швидкістю

ϑ , то її частота ν (визначається кількістю хвиль, що проходять через дану точку за одиницю часу) дорівнює:

$$\nu = \frac{\vartheta}{\lambda}. \quad (1)$$

Величину енергії кванта для такої хвилі знаходять з рівняння:

$$T = h \cdot \nu, \quad (2)$$

де h – стала Планка. Ця стала дуже мала $6,6 \cdot 10^{-34}$ Дж/с, тому дискретний характер зміни енергії помітно проявляється лише на високих частотах. Квант світла, енергія світлового фотону складають $3,0 \cdot 10^{-19}$ Дж.

Взаємодія між падаючим фотоном та електроном проходить лише в тому випадку, якщо енергія фотона точно відповідає значенню енергії, необхідної для переходу електрона на іншу допустиму орбіту.

У такому випадку атом має дискретне поглинання, яке відповідає відповідним квантовим числам. Але в твердому тілі кількість допустимих енергетичних рівнів значно більша, ніж в ізолюваному атомі. Атоми розміщені настільки близько один від одного, що електрони кожного атома перебувають під впливом інших ядер. Крім того, самі атоми в твердому тілі роблять коливальні рухи, що також збільшує кількість можливих енергетичних рівнів. Тому тверді тіла поглинають випромінювання в широкому діапазоні довжини хвиль і характеризуються не дискретним, а суцільним електронним поглинанням.

Тверде тіло поглинає не всі фотони, що падають на нього: одні з них розсіюються під час зіткнення, а інші проходять крізь тіло без взаємодії.

Деякі фотони розсіюються в зворотному напрямку і їх можна спостерігати на поверхні, на яку вони падали. У матеріалі, проникному для випромінювання, фотони можуть мати всередині тіла багаторазове розсіювання, але якщо поглинання в матеріалі велике, то назад повертаються лише ті фотони, що розсіюються поблизу поверхні. В обох випадках ми можемо говорити, що тіло відбиває фотони.

Отже, фотони, котрі падають на тіло, можуть відбиватися, поглинатися чи проходити крізь нього. Частка фотонів кожної з названих категорій в загальній кількості падаючих фотонів відповідно характеризують відбиваючу, поглинаючу і пропускну здатність тіла. Сума всіх цих показників має становити одиницю. При поглинанні випромінювання тіло переходить до збудженого стану, за якого електрони перебувають на більш високих енергетичних рівнях, а інтенсивність коливання атомів у решітці зростає, відповідно температура тіла підвищується.

Випадкові фотони зникають, а тіло прагне повернутися до свого первинного стану, випромінюючи надлишкову енергію. Тоді проходить зворотний процес: довжина хвиль випромінюваних фотонів відповідає зміні енергії тіла, але кількість їх можливих значень настільки велика, що спектр такого випромінювання можна вважати безперервним.

Атом або молекула перебувають у збудженому стані недовго, після чого вони випромінюють фотон такої ж енергії. Але, в твердому тілі, завдяки дії міжатомних сил на випромінювання фотона, можлива передача енергії від збудженого атома до сусіднього. У результаті температура тіла вирівнюється.

Випромінювання реального тіла з неймовірно складним розподілом енергетичних рівнів суттєво відрізняється від випромінювання чорного тіла. Але для простоти ми використовували модель чорного тіла для аналізу властивостей і поведінки реального тіла. Кількість отриманої енергії залежить не тільки від довжини хвилі, але і від кута падіння

випромінювання, а також від стану поверхні тіла. При шорсткій поверхні фотони опиняються у впадинах, де умови для їх поглинання зростають. Фотони у впадинах багаторазово відбиваються від пірамідальної поверхні, де розсіюють майже всю свою енергію. Отже, зростає поглинальна властивість поверхні, ефективність конвертування сонячного випромінювання в теплову енергію. Виходячи з зазначеного вище, для того щоб збільшити ефективність абсорбера сонячного колектора, ми обробили поглинальну поверхню спеціальним інструментом, який створив на поверхні шорсткість пірамідальної форми. Висота мікронерівностей поверхні становила до 25 мкм, що відповідає діапазонам видимої та інфрачервоної хвиль.

Реальне тіло має відбиваючу (ρ) та поглинаючу (α) здатність. Відношення α/ρ характеризує ступінь селективності покриття. Якщо за необробленої поверхні ступінь селективності становив 2,35 ($\alpha=0,94$; $\rho=0,4$), то за обробленої поверхні 8 ($\alpha=0,90$; $\rho=0,11$).

Експериментальні випробування показали зростання селективності поверхні в 3,4 рази порівняно з необробленою поверхнею та підвищення вихідної потужності сонячного колектора до 20 % , що відображено на графіках (рис. 4, 5).

Наші дані, частково, співпадають з даними групи спеціалістів під керівництвом Чжуна Сюи – представника Національної лабораторії Оак Ридж (США), які створили напівпровідники n -типу з поверхнею у формі конусів мікроскопічного розміру з оксиду цинку. Як стверджують спеціалісти Національної лабораторії, використання напівпровідника з такою формою поверхні збільшує здатність батареї поглинати сонячне випромінювання і збільшувати кількість отриманої електричної енергії на 80 % порівняно з аналогами, що мають таку ж площу.

Висновок. Поглинальні властивості поверхні, яка має мікрошорсткість пірамідальної форми, збільшуються в 3,4 рази що збільшує, відповідно, отримання теплової енергії, підвищує ККД плоских колекторів.

Для гарячого водопостачання потрібна різниця температур $\Delta T=20\div 50$ °С, що навіть за середньої інтенсивності сонячного випромінювання 500-600 Вт/м² повністю задовольняють поглинальні властивості даного абсорбера.

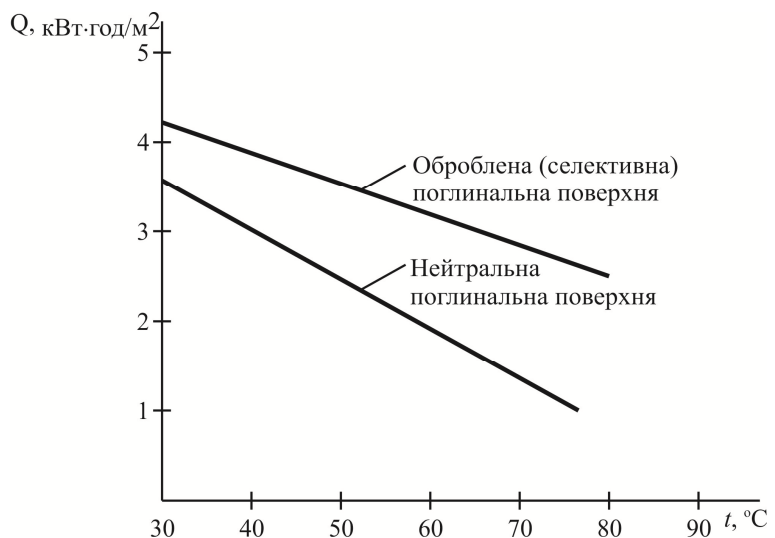


Рис. 4. Залежність вихідної потужності сонячного колектора від температури

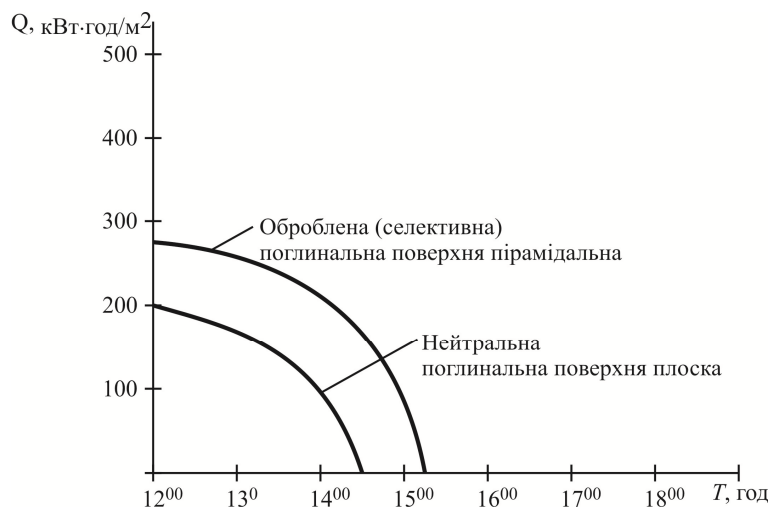


Рис. 5. Добові зміни вихідної потужності сонячного колектора

Для зменшення тепловтрат конвекційними потоками в зазорі між абсорбером та склом встановлено термостійку прозору плівку. Конструкція пройшла заводські випробування і показала високі технічні характеристики нарівні із закордонними моделями. Для порівняння було використано німецький колектор фірми «Wolf».

Отже, ми отримали високоефективний сонячний колектор для гарячого водопостачання. Крім того, конструкція колектора дозволяє використовувати високопродуктивну технологію виготовлення, автоматизувати та механізувати ряд технологічних операцій, що дає можливість масового виробництва сонячних колекторів в Україні.

Література

1 Стратегічна оцінка використання відновлювальних джерел енергії у сталому туристично-рекреаційному розвитку Карпатського регіону / Монографія за редакцією Архипової Л.М. // Івано-Франківськ: ІФНТУНГ Факел, 2016.

2 Мандрик О. М. Аналіз використання потенціалу вітрової і сонячної енергії в Карпатському регіоні. Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування. – Івано-Франківськ: Вид-во ІФНТУНГ, 2016. – № 1 (13). С. 158-167.

3 Mandryk O. Induction of the Carpathian Region Environmental Safety Level Change using the Alternative Sources of Energy / O. Mandryk, Ya. Adamenko, L. Arkhylova, O. Maniuk // Scientific Bulletin of North University Center of Baia Mare Series D, Mining, Mineral Processing, Non-ferrous Metallurgy, Geology and Environmental Engineering Volume XXIX No. 1, 2016 p.65-71.

4 Патент України на корисну модель № 74755, МПК F24J 2/20, F24J 2/22. Сонячний тепловий колектор / І. О. Мікульонок, заявник і патентовласник – Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут». – № u 2012 04890; заявл. 18.04.2012; опубл. 12.11.2012, Бюл. № 21.

5 Патент України на винахід № 22748 А, МПК F24J 2/20. Сонячний водонагрівач / Д. Л. Міцкевич, В. М. Ільїн, заявник і патентовласник – автори. – № 97126408; заявл. 29.12.1997; опубл. 30.06.1998, Бюл. № 3.

6 Шаповал С. П. Ефективність системи теплопостачання на основі сонячного колектора за зміни кута надходження теплового потоку / С. П. Шаповал, О. Т. Возняк, О. С. Дацько // Вісник. Національного університету «Львівська політехніка». – 2009. – № 655. – С. 299–302.

7 Заявки на корисну модель № u 2016 06384, МПК (2016.01) F24J 2/22. Плоский сонячний колектор / О. М. Мандрик, В. І. Іванов, І. В. Гладь, заявник і патентовласник – Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу 2016.

8 Атлас енергетичного потенціалу відновлюваних та нетрадиційних джерел енергії України. - Київ, 2001р., НАН України.

© О. М. Мандрик,
В. І. Іванов

*Надійшла до редакції 05 жовтня 2016 р.
Рекомендував до друку
докт. техн. наук М. І. Михайлів*