

УДК 620.97: 697.329

**Шаповал Степан Петрович**, канд. техн. наук., асистент кафедри теплогазопостачання та вентиляції. Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів, Україна. Вул. Карпінського 6, м. Львів, Україна, 79013. Тел. +38 (032) 258-27-05. Email: [shapovalstepan@gmail.com](mailto:shapovalstepan@gmail.com). ID ORCID: [orcid.org/0000-0003-4985-0930](http://orcid.org/0000-0003-4985-0930)

**Мисак Йосиф Степанович**, д-р техн. наук, проф., завідувач кафедрою теплотехніки, теплових і атомних електричних станцій. Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів, Україна. Вул. Устияновича 5, м. Львів, Україна, 79013. Тел. +38 (032)2582515. E-mail: [s.mysak@yandex.ru](mailto:s.mysak@yandex.ru). ID ORCID: [http://orcid.org/0000-0000-0000](http://orcid.org/0000-0000-0000-0000)

### ЕНЕРГЕТИЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ КОМБІНОВАНОГО ІЗ ЗОВНІШНІМ ЗАХИЩЕННЯМ БУДІВЛІ ГЕЛІОКОЛЕКТОРА

*Подано результати експериментальних досліджень системи сонячного теплостачання із геліостіною в режимі циркуляції. Описано результати досліджень надходження випромінювання на геліостіну. Встановлено графічні залежності температури нагріву теплоносія на вході та виході геліостіни, а також в баку-акумуляторі та кількості тепла, що отримала геліоустановка від часу опромінення її джерелом тепла.*

**Ключові слова:** геліоколектор, сонячне випромінювання, кількість тепла.

**Шаповал Степан Петрович**, канд. техн. наук., асистент кафедри теплогазоснабження и вентиляции. Национальный университет "Львовская политехника", г. Львов, Украина. Ул. Карпинского 6, м. Львов, Украина, 79013. Тел. +38 (032) 258-27-05. Email: [shapovalstepan@gmail.com](mailto:shapovalstepan@gmail.com). ID ORCID : [orcid.org/0000 - 0003-4985-0930](http://orcid.org/0000 - 0003-4985-0930)

**Мисак Йосиф Степанович**, д-р техн. наук, проф., заведующий кафедрой теплотехники, тепловых и атомных электрических станций. Национальный университет "Львовская политехника", г. Львов, Украина. Ул. Устияновича 5, г. Львов, Украина, 79013. Тел. +38 (032) 2582515. E - mail: [s.mysak@yandex.ru](mailto:s.mysak@yandex.ru). ID ORCID : <http://orcid.org/0000-0002-4374-3299>

### ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ КОМБИНИРОВАННОГО С ВНЕШНЕЙ ЗАЩИТОЙ ЗДАНИЯ ГЕЛИОКОЛЛЕКТОРА

*Поданы результаты экспериментальных исследований системы солнечного теплостачання из гелиостеною в режиме циркуляции. Описаны результаты исследований поступления излучения на гелиостену. Установлены графические зависимости температуры нагрева теплоносителя на входе и выходе гелиостены, а также в баке-аккумуляторе и количества тепла, которое получило гелиоустановка от времени облучения ее источником тепла.*

**Ключевые слова:** гелиоколектор, солнечное излучение, количество тепла.

**Shapoval Stepan Petrovych**, Ph. D., assistant of department of Heat and ventilation. National University "Lviv Polytechnic", Lviv, Ukraine. Str. Karpinski 6, Lviv, Ukraine, 79013. Tel. +38 (032) 258-27-05. Email: [shapovalstepan@gmail.com](mailto:shapovalstepan@gmail.com). ID ORCID: [orcid.org/0000-0003-4985-0930](http://orcid.org/0000-0003-4985-0930).

**Mysak Yosyf Stepanovych**, Ph. D., Professor, head of the Department teplotehnyky, thermal and nuclear power electric stations. National University "Lviv Polytechnic", Lviv, Ukraine. Str. Ustyianovycha 5, Lviv, Ukraine, 79013. Tel. +38 (032) 2582515. E - mail: [s.mysak@yandex.ru](mailto:s.mysak@yandex.ru). ID ORCID: <http://orcid.org/0000 - 0000-0000-0000>.

### ENERGY EFFICIENCY OF COMBINED HELIOPLECTOR WITH EXTERNAL WALL OF BUILDINGS

*The results of experimental researches of the system of solar heating system are given from heliowall in the mode of circulation. The results of researches of receipt of radiation are described on heliowall. Graphic dependences of temperature of heating of coolant-moderator are set on an entrance and exit of heliowall, and also in a tank-accumulator and amount of heat, that got solar heating system from time of irradiation of heat her source.*

**Keywords:** heliocollector, solar radiation, heat.

#### Вступ

Загострення енергетичних і екологічних проблем, зокрема дефіцит енергоносіїв, проблема глобального потепління та зміна рівня традиційної енергетики обумовило особливе ставлення до альтернативної енергетики, виводячи її з ряду перспективних ексклюзивних напрямків у ряд першочергових необхідних завдань. Для можливості застосування геліоустановок необхідно проаналізувати та співставити ресурси відновлюваних джерел енергії з наявними невідновними. В Україні є всі передумови для інтенсивного використання значного потенціалу нетрадиційної енергії, зокрема сонячної. Тому виникає необхідність у здійсненні комплексних заходів щодо використання нетрадиційних джерел енергії.

Вирішення цієї проблеми вимагає істотних змін у світовому енергетичному балансі. Альтернативою традиційної енергії є використання нетрадиційних поновлюваних джерел енергії: енергія Сонця, вітру, надр землі, тепла промислових та каналізаційних відходів, води, та ін.

### Аналіз останніх досліджень та публікацій

Існує багато різноманітних конструкцій сонячних колекторів для забезпечення побутових та технологічних потреб, проте поширення набувають комбіновані сонячні колектори [1, 2]. На їх ефективність впливає багато факторів: кути падіння випромінювання [3] хмарність, швидкість і напрямок вітру, географічна широта, тощо [4–7]. Тому важливим є вивчення всіх факторів, які впливають на роботу сонячних колекторів та пошук оптимальних конструкцій та режимів їх роботи, для чого розроблено ряд методів досліджень [8]. На сьогодні не менш актуальним є будівництво енергоефективних будинків, які б могли не лише ефективно використовувати тепло, а й виробляти самі [9, 10].

### Постановка проблеми

Одним з найперспективніших джерел альтернативної енергетики є енергія Сонця. Проте, системи сонячного теплопостачання із сонячними колекторами, що наявні в продажі є достатньо дорогими та створюють додаткове масове навантаження на конструкції споруд, на яких вони розміщуються.

Конструктивне поєднання сонячного колектора та огорожуючої конструкції будівлі дозволить максимально здешевити вартість сонячної системи теплопостачання, підвищить її енергоефективність та спростить конструкцію. Тому, на сьогоднішній день важливим є дослідження ефективності геліостіни в системі сонячного теплопостачання.

### Виклад основного матеріалу

Дослідження проводилися на експериментальній установці, яка складалася із геліостіни, бака-акумулятора, вимірювальних приладів та джерела випромінювання. Схема геліостіни зображена на рис. 1.

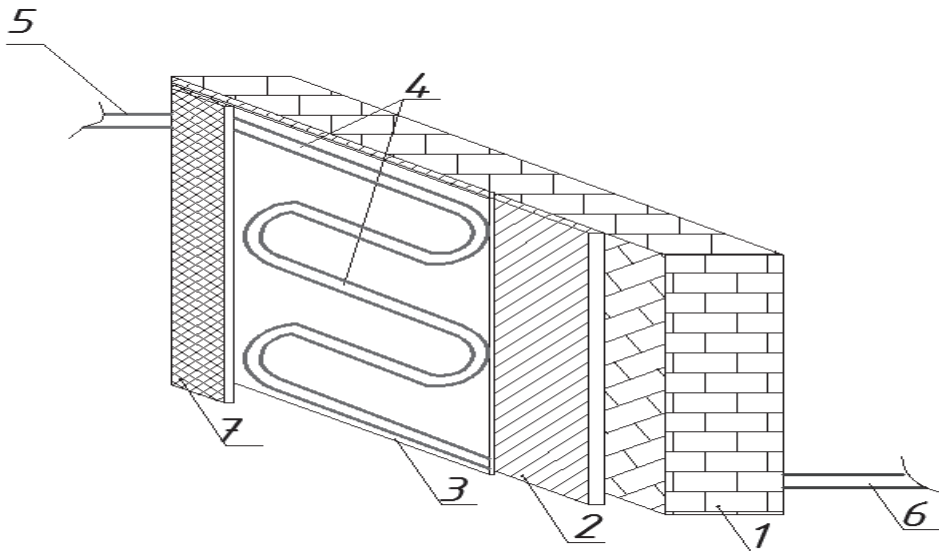


Рис. 1. Схема геліостіни:

1 – цегляна стіна; 2 – теплоізоляційний шар; 3 – тепловідбиваючий шар; 4 – трубки контуру циркуляції; 5 – зворотний трубопровід; 6 – подаючий трубопровід

Геліостіна в якості сонячного колектора працює наступним чином. Сонячне проміння попадає на тиньк 7 геліостіни, який виконує функцію теплопровідного шару. При цьому відбувається його нагрівання. Тепло передається трубкам контуру циркуляції 5. Теплоізоляційний шар 2 забезпечує зменшення тепловтрат. Розміщення шару тепловідбиваючого матеріалу 3 дає можливість збільшити ефективність використання

сонячного випромінювання, частина якого пройшла повз трубки контуру циркуляції. Шар тепловідбиваючого матеріалу 3 відбиває сонячне випромінювання у зворотньому напрямку на трубки для теплоносія 5, в результаті чого поглинається практично все сонячне випромінювання, яке потрапляє на геліостіну.

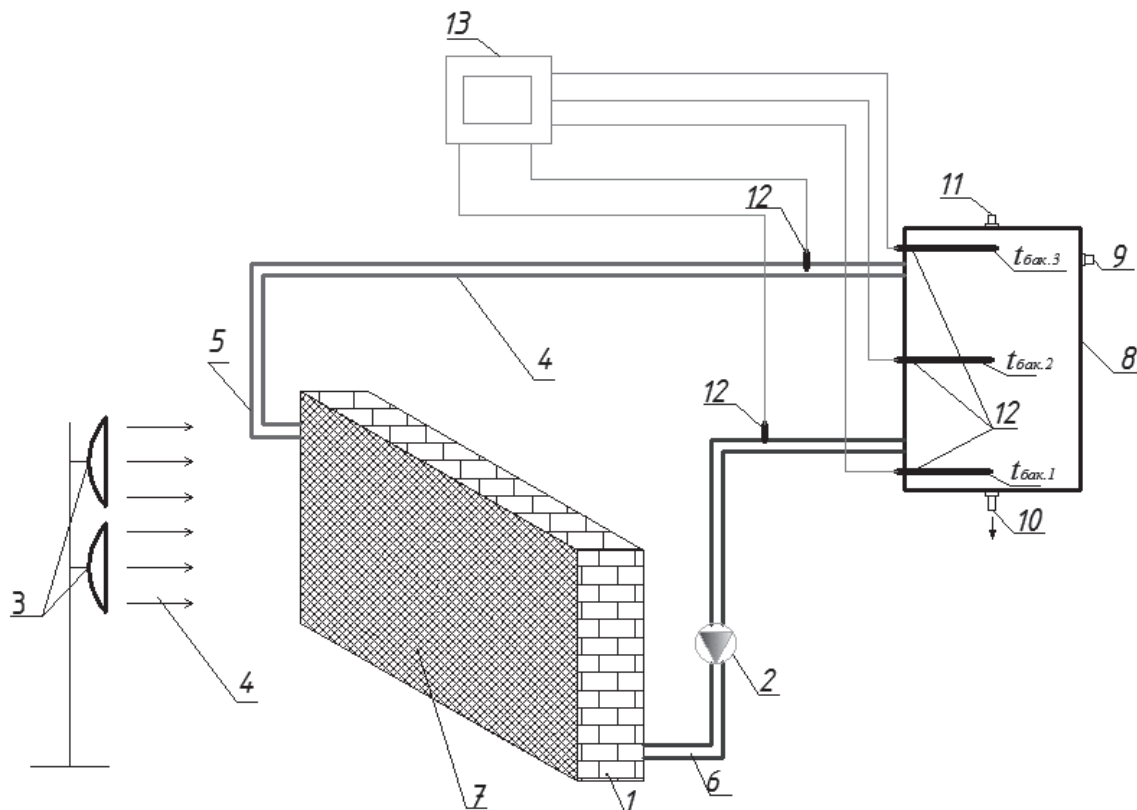


Рис. 2. Схема експериментальної установки:

1 – цегляна стіна; 2 – циркуляційна помпа; 3 – випромінювач теплової енергії; 4 – тепловий потік; 5 – зворотний трубопровід; 6 – подаючий трубопровід; 7 – тиньк; 8 – бак-акумулятор; 9 – патрубок подачі води споживачу; 10 – патрубок спуску води (подачі холодної води в систему); 11 – повітроспускник; 12 – термометри опору; 13 – цифровий термометр

За рахунок дії циркуляційної помпи, і відповідно різниці тисків в зоні вхідного і вихідного патрубків, створюється циркуляція теплоносія. Нагрітий теплоносій через подаючий трубопровід подається у бак-акумулятор гарячої води. Нагріта вода через патрубок подається споживачу. Охолоджений теплоносій по зворотньому трубопроводу повертається у геліостіну, і нагрівається.

Впродовж проведення експерименту вимірювались: температура теплоносія на вході в геліостіну; температура теплоносія на виході із геліостіни; температура теплоносія в трьох точках бака-акумулятора, розташованих по вертикалі на однаковій відстані одна від одної.

Здійснювався контроль за тим, щоб на проведення експерименту не впливали інші фактори (сонячна енергія через вікно, гладкі поверхні, затінення сонячного колектора, тощо).

Для проведення експерименту факторами були обрані наступні величини:

- відстань над трубками контуру циркуляції,  $\delta$ , мм;
- швидкість руху теплоносія,  $V$ , м/с.

У даній статті представлені результати експериментальних досліджень геліостіни в системі сонячного теплопостачання при діаметрі трубок контуру циркуляції  $d = 10$  мм, відстані між трубками контуру циркуляції  $l = 10$  мм. Товщина тиньку над трубками контуру циркуляції встановлювалась на рівні 30 мм. Швидкість руху теплоносія в контурі циркуляції становила 0,15 л/хв. Дослідження проводились при інтенсивності теплового потоку

300 Вт/м<sup>2</sup>, що відповідає середньому значенню інтенсивності сонячного випромінювання в Україні впродовж дня.

Результати експериментальних вимірювань температур теплоносія на вході та виході геліостіни, а також усередненої температури повітря біля експериментальної установки подано у графічній формі на рис. 3.

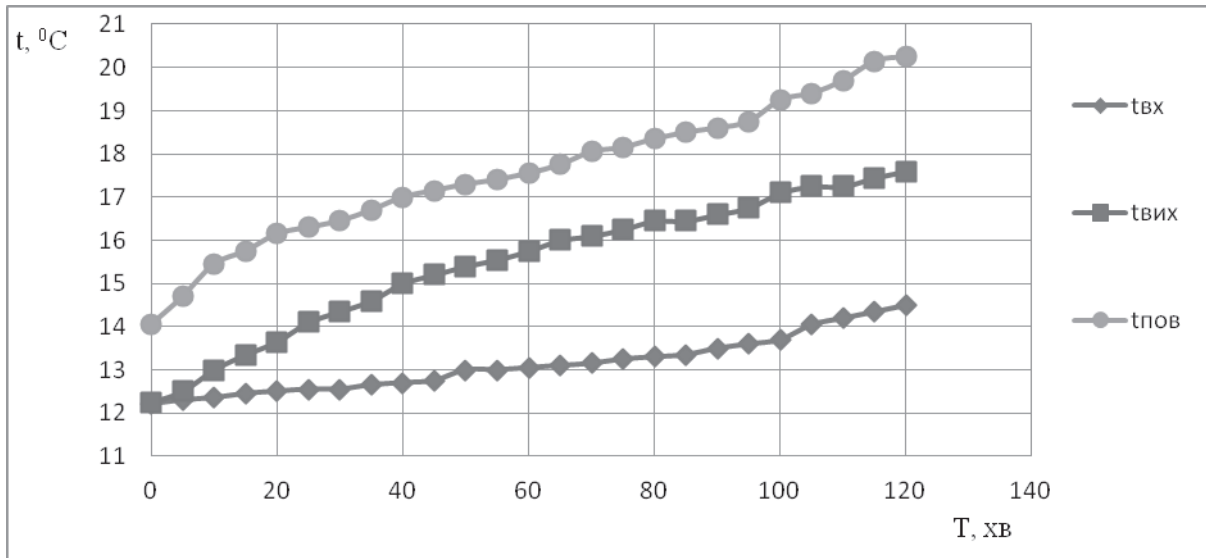


Рис. 3. Результати експериментальних досліджень геліостіни:

$t_{вх}$  – температура води на вході в геліостіну, °C;  $t_{вих}$  – температура води на виході з геліостіни, °C;  $t_{пов}$  – усереднена температура повітря біля експериментальної установки, °C

Проаналізувавши графік, зображений на рис. 3, можна побачити поступове зростання температури води у геліоустановці впродовж всього експерименту. Температура води на виході з геліостіни досягає значення 17,6 °C, тобто за 120 хвилин опромінення тепловим потоком інтенсивністю 300 Вт/м<sup>2</sup> температура теплоносія на виході збільшилась на 44%.

Відповідно до зміни температур на вході та виході геліостіни, доцільно проаналізувати як змінювався її коефіцієнт корисної дії. Ефективність сонячного колектора визначається за формулою:

$$\eta_{гс} = \frac{Q_{ск}}{I_e} \cdot 100\%, \quad (1)$$

де  $Q_{ск}$  – питома миттєва теплова потужність сонячного колектора, Вт/м<sup>2</sup>;

$I_e$  – інтенсивність випромінювання джерела на поверхню теплопоглинача сонячного колектора, Вт/м<sup>2</sup>.

Питома миттєва теплова потужність сонячного колектора визначалась наступним чином:

$$Q_{ск} = \frac{G \cdot c \cdot (t_{вих} - t_{вх})}{F_{ск}}, \quad (2)$$

де  $G$  – питома витрата теплоносія, кг/(с·м<sup>2</sup>);

$c$  – питома теплоємність теплоносія, Дж/(кг·К);

$t_{вих}$ ,  $t_{вх}$  – температури теплоносія на вході та виході сонячного колектора, К.

$F_{ск}$  – площа геліостіни, м<sup>2</sup>.

На рис. 4 зображено залежність питомої миттєвої теплової потужності геліостіни від часу опромінення, обрахованої за залежністю 2.

Із рис. 4 можна побачити, що питома миттєва теплова потужність геліостіни різко збільшується від початку експерименту до 80-ої хвилини і складає 165 Вт/м<sup>2</sup>, а далі знаходиться на одному рівні 162–168 Вт/м<sup>2</sup>.

Відповідно до даних рис.4 за допомогою залежності (1) отримано зміну коефіцієнта корисної дії геліостіни впродовж експерименту (рис. 5).

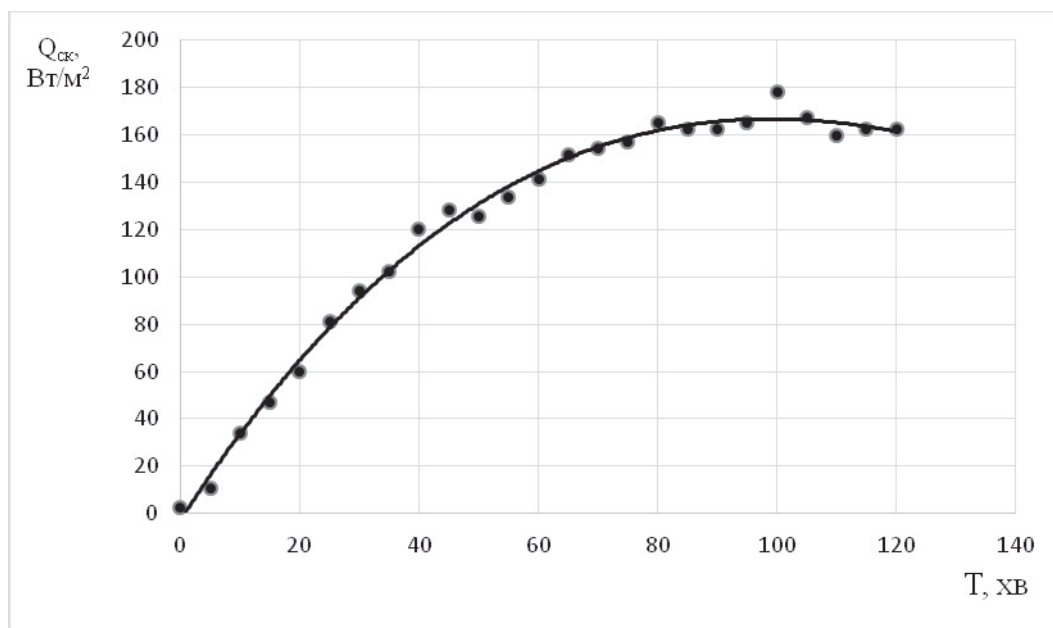


Рис. 4. Зміна питомої миттєвої теплової потужності  $Q_{ск}$  Вт/м<sup>2</sup> геліостіни залежно від часу її опромінення  $T$ , хв

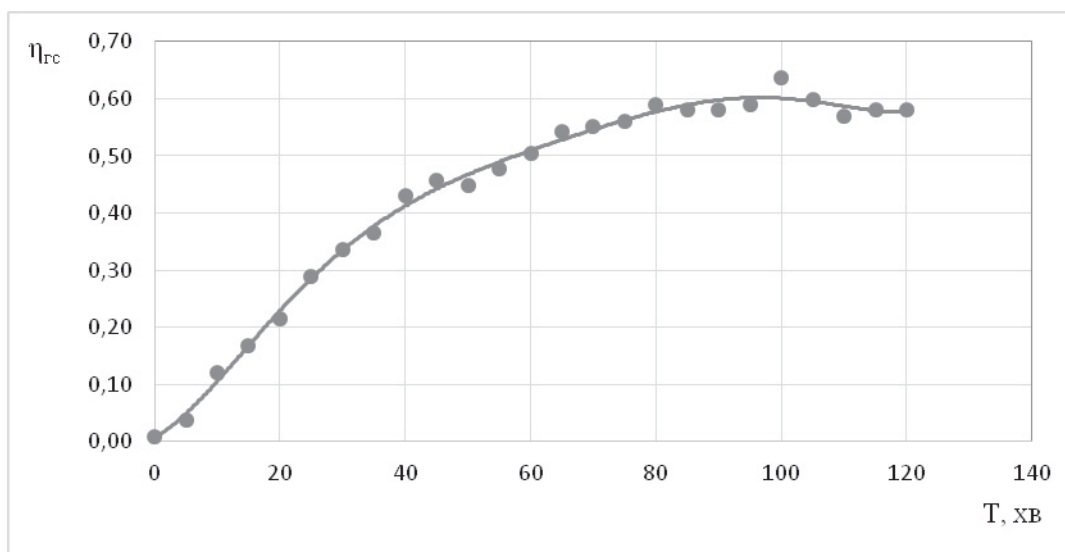


Рис. 5. Зміна коефіцієнта корисної дії геліостіни  $\eta_{гс}$  залежно від часу опромінення  $T$ , хв

На графіку (рис. 5) спостерігається зростання значення коефіцієнта корисної дії до 80-ої хвилини (відповідно до питомої миттєвої теплової потужності), що становить 0,59, а далі суттєвих змін не спостерігається і він залишається на одному рівні.

Доцільно також проаналізувати ефективність даної системи сонячного теплопостачання (загалом)вцілому за кількістю енергії, що отримав бак акумулятор. Та на рис. 6 зображено зміну температури води в бак-акумуляторі впродовж експерименту.

З рис. 6 видно, що поступовий нагрів води в бак-акумуляторі відбувається впродовж усього експерименту на всіх рівнях ( $t_{бак.1}$ ,  $t_{бак.2}$ ,  $t_{бак.3}$ ) і навіть на проміжку від 80-ої до 120-ої хвилини, не дивлячись на те, що питома тепла потужність тут не зростала (рис. 4).

Важливо також проаналізувати скільки тепла отримувала система впродовж експерименту за усередненою температурою в бак-акумуляторі із 1 м<sup>2</sup> геліостіни.

Теплова енергія, що акумулювалась в баку-акумуляторі визначалась за формулою:

$$Q_{\text{бак}} = m \cdot c \cdot (t_k - t_n), \quad (3)$$

де  $m$  – маса теплоносія в баку-акумуляторі, кг;

$c$  – питома теплоємність теплоносія, Дж/(кг·К);

$t_n, t_k$  – відповідно початкова та кінцева температури теплоносія в баці-акумуляторі, К.

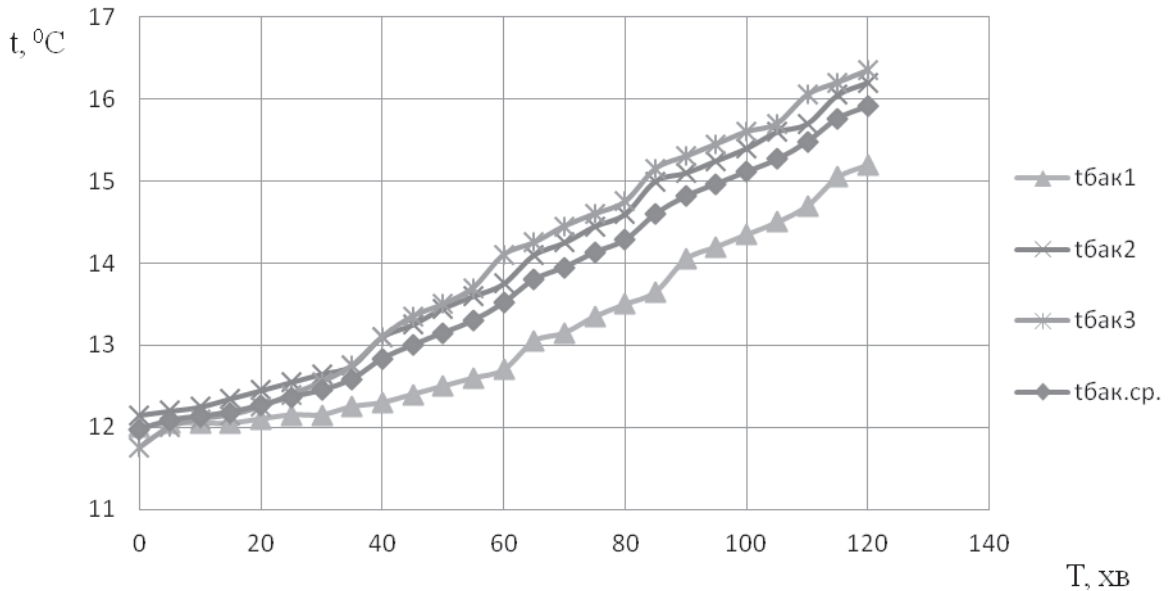


Рис. 6. Зміна температури води в баку-акумуляторі:

$t_{\text{бак.1}}, t_{\text{бак.2}}, t_{\text{бак.3}}$  – температури води по висоті баку-акумулятора (див. рис. 2), °С;  
 $t_{\text{бак.ср.}}$  – усереднена температура води в баці-акумуляторі, °С

На рис. 7 можна побачити змінний характер енергії, що акумулюється в баку-акумуляторі впродовж експерименту. Варто зазначити, що середнє значення отриманої енергії баком-акумулятором із 1 м<sup>2</sup> геліостіни склало 51,7 кДж та коливалось в межах 15,7–99,5 кДж.

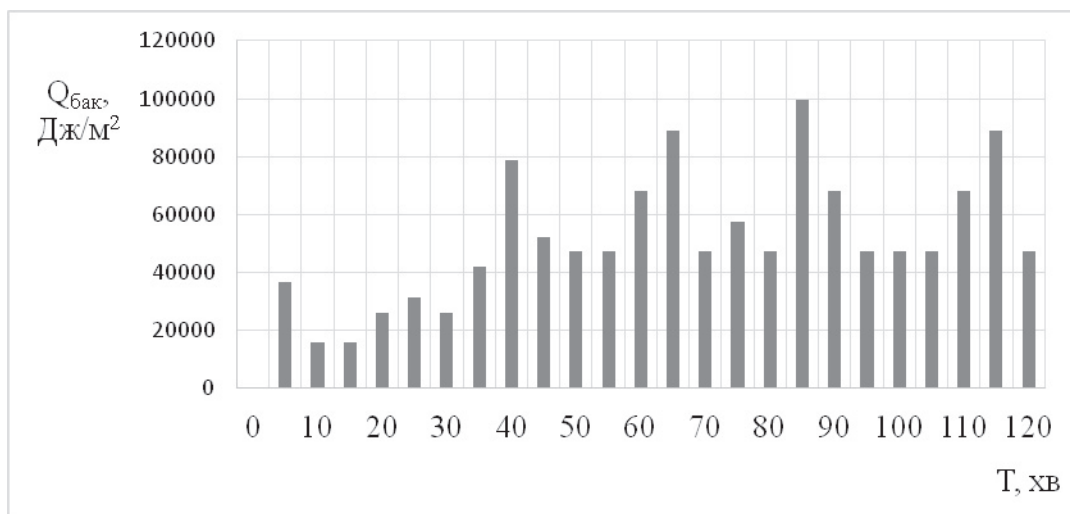


Рис. 7. Кількість теплової енергії, що акумулювалась у баку-акумуляторі із 1 м<sup>2</sup> геліостіни, що 5 хвилин впродовж експерименту

Оскільки отриманий коефіцієнт корисної дії геліостіни не враховує тепловтрат через трубопроводи, бак-акумулятор та інші фактори, тому доцільно проаналізувати його за кількістю тепла, що закумулював бак-акумулятор впродовж експерименту.



$$Q_{отр} = c \cdot m \cdot (t_{cp,1} - t_{cp,2}), \quad (4)$$

де  $c$  – питома теплоємність теплоносія,  $\frac{Дж}{кг \cdot К}$ ;

$m$  – маса теплоносія, кг;

$t_{cp,1}, t_{cp,2}$  – середні температури теплоносія в бакові-акумуляторі, К.

$$Q_{пром} = F_{ск} \cdot I_e \cdot \Delta T, \quad (5)$$

де  $F_{ск}$  – площа теплопоглинача сонячного колектора,  $м^2$ ;

$I_e$  – інтенсивність випромінювання джерела на поверхню теплопоглинача сонячного колектора,  $Вт/м^2$ ;

$\Delta T$  – проміжок часу, с.

Співвідношення кількості тепла накопиченого баком-акумулятором та кількості променевої енергії, що надійшла на поверхню геліостіни подано в табл. 1.

Таблица 1

Час опромінення T, хв	Кількість тепла накопиченого баком-акумулятором $Q_{отр}$ , кДж/м <sup>2</sup>	Кількість променевої енергії, що надійшла на геліостіну $Q_{пром}$ , кДж/м <sup>2</sup>
10	52	168
20	94	336
30	152	504
40	272	672
50	372	840
60	487	1008
70	623	1176
80	728	1344
90	896	1512
100	990	1680
110	1105	1848
120	1241	2016

На основі даних таблиці 1 отримана залежність кількості тепла системою сонячного теплопостачання на основі геліостіни від часу опромінення:

$$Q_{отр} = 0,9123 T^2 + 30,85 T - 65,1, \quad (6)$$

де  $Q_{отр}$  – кількість тепла, що накопичена баком-акумулятором, кДж;  
 $T$  – час опромінення, хв.

Аналогічно визначається ефективність системи сонячного теплопостачання  $\eta_{сст}$  за кількістю енергії, отриманої баком-акумулятором  $Q_{отр}$ :

$$\eta_{сст} = \frac{Q_{отр}}{Q_{пром}} \cdot 100 \%, \quad (7)$$

де  $Q_{отр}$  – кількість тепла, що отримав бак-акумулятор за час  $\Delta T$ , с, визначалась експериментально;  $Q_{пром}$  – кількість променевого тепла, що надійшла на поверхню теплопоглинача сонячного колектора за той самий проміжок часу  $\Delta T$ , с.

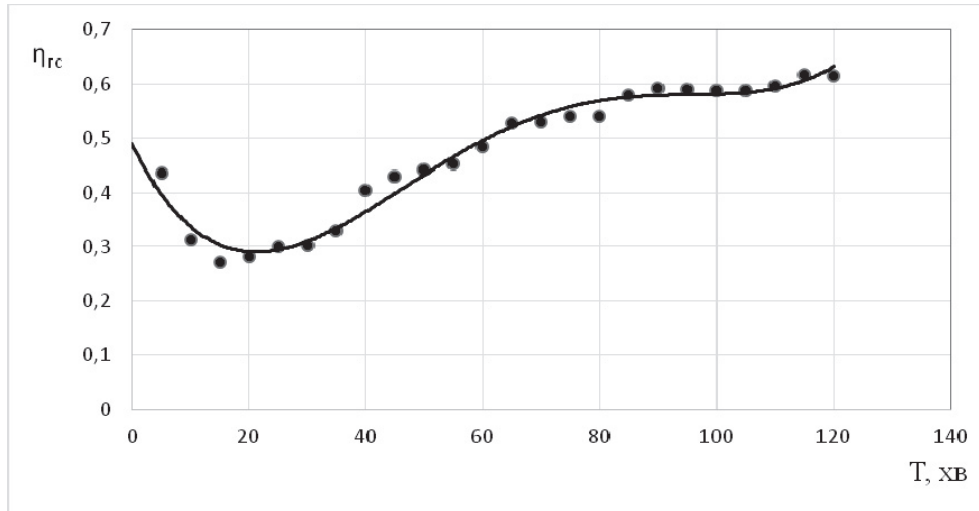


Рис. 8. Зміна коефіцієнта корисної дії геліосистеми на основі геліостіни впродовж експерименту

З графіка рис. 8, можна побачити, що коефіцієнт корисної дії системи сонячного теплопостачання із геліостіною, з початку опромінення до 20-ої хвилини дещо знижується від 0,44 до 0,28, а далі різко зростає до 85-ої хвилини і становить 0,59, після чого знаходиться приблизно на одному і тому ж рівні.

### Висновки

Проведені дослідження підтверджують ефективність використання геліостіни у системах сонячного теплопостачання. Аналіз результатів досліджень показує те, що коефіцієнт корисної дії геліостіни при швидкості руху теплоносія  $V = 0,15$  л/хв та відстані над трубками контуру циркуляції  $\delta = 10$  мм є 0,45, а усієї системи в цілому – 0,47. Кількість тепла, що отримала геліосистема впродовж експерименту (за 120 хвилин) з 1 м<sup>2</sup> геліостіни становить 1241 кДж, що говорить про перспективність використання геліостіни у системах сонячного теплопостачання та необхідність подальших досліджень.

### Список літературних джерел:

1. Мисак Й. С. Сонячна енергетика: теорія та практика: монографія / Й. С. Мисак, О. Т. Возняк, О. С. Дацько, С. П. Шаповал. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2014. – 340 с.
2. Твайделл Д. Возобновляемые источники энергии / Д. Твайделл, А. Уэйр; пер. с англ. под ред. В. А. Коробкова. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 391 с.
3. Шаповал С. П. Ефективність системи теплопостачання на основі сонячного колектора при зміні кута надходження теплового потоку / С. П. Шаповал, О. Т. Возняк, О. С. Дацько // Вісник Національного університету "Львівська політехніка" ["Теорія і практика будівництва"]. – Л.: В-во НУ "ЛП", 2009. – № 655. – С. 299–302.
4. Одинцов А. Н. Целесообразность использования вертикальных солнечных коллекторов для терморегуляции помещений // Вісник СевДТУ, вип. 97: Механіка, енергетика, екологія: зб. наук. пр. — Севастополь: Вид-во СевНТУ, 2009. – С. 204–209.



5. Kolektorz Słoneczne : energia słoneczna w mieszkalnictwie, hotelarstwie i drobnym przemyśle / [G. Wiśniewski, S. Gołębiowski, M. Grzciuk and other]. – Warszawa : Medium, 2008. – 201 p.
6. Lorenz P. The economics of solar power / P. Lorenz, D. Pinner, T. Seitz. – The McKinsey Quarterly, June 2008. – P. 19.
7. Maczulak A. E. Renewable energy : Sources and Methods / Anne Maczulak. – NY : Infobase Publishing, 2010. – 206 p.
8. Perers B. Dynamic method of solar collector testing // Solar Energy Engng 2.– 1992.– P. 1149–1154,
9. Ogrzewnictwo : podstawy projektowania cieplnego i termomodernizacji budynków / [pod. red. Haliny Kocyzk]. – Poznań : Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, 2000. – 268 p.
10. Piotrowski R. Katalog Projektów Domów Pasywnych i Energooszczędnych / Ryszlan Piotrowski. – Warszawa, 2006. – № 1 (1). – 71 p.

#### References:

1. Mysak Y. S., Vozniak O. T., Datsko O. S., Shapoval S. P., (2014), Soniachna enerhetyka: teoriia ta praktyka: monohrafiia / – Lviv: Vydavnytstvo Lvivskoi politekhniki, 2014. – 340 p.
2. Tvidell D., Ueir A., (1990), Vozobnovliaemye ystochnyky enerhyy; per. s anhl. pod red. V. A. Korobkova. – M. : Enerhoatomyzdat, 1990. – 391 p.
3. Shapoval S. P., Vozniak O. T., Datsko O. S., (2009), Efektyvnist systemy teplopostachannia na osnovi soniachnoho kolektora pry zmini kuta nadkhodzhennia teplovoho potoku / Visnyk Natsionalnoho universytetu "Lvivska politekhnika" ["Teoriia i praktyka budivnytstva"]. – L. : V-vo NU "LP", 2009. – № 655. – P. 299–302.
4. Odyntsov A. N., (2009), Tselesoobraznost yspolzovanyia vertykalnykh solnechnykh kollektorov dlia termorehuliatyssi pomeshchenyi // Visnyk SevDTU, vyp. 97: Mekhanika, enerhetyka, ekolohiia: zb. nauk. pr. — Sevastopol: Vyd-vo SevNTU, 2009. – P. 204–209.
5. Kolektorz Słoneczne : energia słoneczna w mieszkalnictwie, hotelarstwie i drobnym przemyśle / [G. Wiśniewski, S. Gołębiowski, M. Grzciuk and other]. – Warszawa : Medium, 2008. – 201 p.
6. Lorenz P. The economics of solar power / P. Lorenz, D. Pinner, T. Seitz. – The McKinsey Quarterly, June 2008. – P. 19.
7. Maczulak A. E. Renewable energy : Sources and Methods / Anne Maczulak. – NY : Infobase Publishing, 2010. – 206 p.
8. Perers B. Dynamic method of solar collector testing // Solar Energy Engng 2. 1992. – P. 1149–1154,
9. Ogrzewnictwo : podstawy projektowania cieplnego i termomodernizacji budynków / [pod. red. Haliny Kocyzk]. – Poznań : Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, 2000. – 268 p.
10. Piotrowski R. Katalog Projektów Domów Pasywnych i Energooszczędnych / Ryszlan Piotrowski. – Warszawa, 2006. – № 1 (1). – 71 p.

Поступила в редакцию 20.04 2015 г.