

## Ексергетичні та енергетичні характеристики комбінованого геліовікна з вбудованим теплообмінником

Степан Шаповал<sup>1</sup>, Василь Желих<sup>2</sup>, Володимир Шепітчак<sup>3</sup>

Національний університет «Львівська політехніка»<sup>1,2,3</sup>  
вул. С. Бандери 12, м. Львів, Україна, 79013,  
shapovalstepan@gmail.com, orcid.org/0000-0003-4985-0930<sup>1</sup>  
v\_zhelykh@msn.com, orcid.org/0000-0002-5063-5077<sup>2</sup>  
shepitchak@gmail.com, orcid.org/0000-0001-5883-548X<sup>3</sup>

DOI: 10.32347/2310-0516.2019.12.68-76

**Анотація.** До не відновлюваних видів енергії належать три основні види палива - вугілля, нафта та природний газ. Викопні види палива забезпечують більш ніж 90% світової енергетики. Крім цього, традиційне паливо відносно просте у використанні для виробництва енергії, адже воно потребує простого прямого спалювання. Проте проблема з викопним паливом – це їх вплив на навколишнє середовище.

Альтернативою такої проблемі є відновлювана енергія. В праці розглядається нетрадиційна енергетика, а саме в напрямку використання сонячних установок. Інтенсифікація використання сонячної енергії, спричинена тим, що така енергія може ефективно трансформуватись в теплову чи електричну та може бути використана для побутових потреб споживача.

Однак, в Україні через складність і відносно дороговизну до імпортованих установок, встановлення таких компонентів, як сонячні колектори, фотоколектори, фотомодулі і т.д., не є широкопопулярним.

В праці, запропоновано схемне рішення комбінованої системи сонячного теплопостачання із геліовікном, що має вбудований теплообмінник. Таке схемне рішення дозволяє ще на етапі проектування змонтувати геліовікно в зовнішню конструкцію будинку.

Дослідження системи розглянуто в лабораторних умовах за інтенсивності випромінювання імітатора сонячної енергії 600 Вт/м<sup>2</sup> та 900 Вт/м<sup>2</sup>, а також в режимі циркуляції теплоносія в системі. В роботі досліджено динаміку зміни температури нагріву теплоносія в системі та в баку-акумуляторі в



**Степан Шаповал**  
к.т.н., доцент кафедри «Теплогазопостачання та вентиляція»



**Василь Желих**  
д.т.н., професор кафедри «Теплогазопостачання та вентиляція»,  
Завідувач кафедри «Теплогазопостачання та вентиляція»



**Володимир Шепітчак**  
к.т.н., старший викладач кафедри «Цивільна безпека»

режимі циркуляції теплоносія. Крім цього встановлено, зміну накопичення тепла комбінованою системою сонячного теплопостачання в цілому. Наведено дані що характеризують ефективність сонячного колектора та системи в цілому за накопиченням теплової енергії в баку-акумуляторі.

**Ключові слова.** Сонячна енергія; геліовікно; режим циркуляції; температура теплоносія; ефективність.

## ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Шведський вчений Svante Arrhenius був першим хто в 1896 році описав наслідки використання викопного палива та вказав, що воно може сприяти глобальному потепленню в світі. В 1896 році цими гіпотезами він не привернув до себе такої уваги тоді, оскільки ця проблема не була на стільки актуальною як сьогодні.

Як відомо, паливо не в залежності від походження є джерелом енергії, яке повинно бути доступне для споживача в стабільному вигляді, легко транспортуватися в разі необхідності [1]. Крім цього, на сьогодні, що не менш є важливим, це його відновлюваність та наслідки його використання для природи [2].

Майже всі види палива є паливом з хімічними реакціями. Користувач, використовує паливо для генерації тепла, електроенергії або виконання механічних робіт. В результаті таке використання палива може бути не раціональним або завдавати значних негативних наслідків для природи. Актуальними питаннями сьогодення залишається відновлювана енергія, однак більшість таких джерел дають не стабільну генерацію для користувача [3, 4].

## АНАЛІЗ ОСНОВНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ПУБЛІКАЦІЙ

В праці [5] зафіксовано рівень відновлюваних джерел енергії в Україні станом на 2015 рік та державна політика її розвитку в довгостроковій перспективі. Незважаючи на залежність від імпорتنих енергоресурсів на державному рівні і зношеність видобувних установок, для майбутніх поколінь необхідно розробляти нові власні родовища копалин або розвивати галузь відновлюваних джерел енергії. Також, у статті досліджено переваги розвитку відновлюваних джерел енергії, які розглядаються разом з аналізом найбільш економічно вигідних напрямів їх використання.

В Україні сонячна енергія, як один з представників напрямку відновлюваної енергії, за останні 5 років перетворилась на

одну з найбільших та швидко розвиваючих галузей не традиційної енергетики. Наприклад, в 2016 році - введено в експлуатацію сонячних установок потужністю 100 МВт, у 2017 році - 211 МВт, а в 2018 році - 400 МВт. Станом на 01.10.2017 р. в Україні введено в експлуатацію 183 СЕС загальною потужністю 698 МВт. [6]

Для України досліджено перехід до 100% енергетичного сектору відновлюваних джерел енергії до 2050 року. Моделювання з використанням погодинно розв'язаної моделі визначає ролі технологій зберігання в конфігурації системи з найменшими витратами. Результати показують, що зведена вартість електроенергії впаде з нинішнього рівня 82 €/МВт до 60 €/МВт у 2050 році шляхом прийняття низької вартості виробництва електроенергії та поліпшення ефективності. Крім того, гнучкість та стабільність в енергетичній системі забезпечуються за рахунок збільшення частки рішень зберігання енергії з часом, паралельно з очікуваним зниженням цін у цих технологіях. Досягнення стабільної енергетичної системи може допомогти у досягненні інших політичних, економічних та соціальних цілей для України, але це потребує подолання декількох бар'єрів через належне планування та підтримку паливно-енергетичного комплексу. [7]

Перетворення сонячної енергії вимагає не дешевої енергетичної системи, щоб забезпечити споживача [8]. В загальному енергетична система має мати змогу захоплювати, передавати та зберігати енергію з метою забезпечення достатньої потужності. Через багато переваг, які може забезпечити сонячна енергія, уряди повинні заохочувати будь-який новий підхід до розробки економічно ефективною системи. Генерування енергії із соняного випромінювання дає можливість зменшення залежності від традиційної енергії, Сонце як джерело енергії є необмеженим ресурсом. [9, 10]

Пріоритетним напрямком залишається сонячна енергія, яка є доступна для споживача [11, 12]. Географічне розташування України є сприятливим для реалізації проєктів в основі яких є використання сонячної

енергії. Клімат України характеризується великою кількістю сонячних днів, наприклад за ступенем інсоляції Україна значно перевищує деякі країни Європейського Союзу.

В зв'язку із цим більшість праць зорієнтована на стан сонячної енергетики в країні, розроблення нових та вдосконалення існуючих сонячних установок [13, 14, 15], однак не проводяться дослідження з метою інтеграції сонячних колекторів в конструкції споруд для здешевлення їхньої вартості.

### ФОРМУЛЮВАННЯ МЕТИ СТАТТІ

Метою цієї роботи було дослідити систему сонячного теплопостачання в режимі циркуляції теплоносія та проаналізувати основні теплотехнічні параметри геліовікна в якості сонячного колектора

### ОСНОВНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ

В попередніх наших дослідженнях нами було проаналізовано, що інтенсивність сонячної енергії, що досягає поверхні Землі має змінний характер впродовж дня, місяця, року [16]. Тому доцільним є її аналіз на території України залежно від град. пн.ш. Середньодобова сумарна густина сонячної енергії в січні на території України приймає спадний характер з півдня на північ, зміна становить в межах 90-60 Вт/м<sup>2</sup>. [17]

Було також встановлено, що на горизонтальну поверхню в середньому по широтах України припадає ~333 МДж/м<sup>2</sup> сумарної сонячної енергії за місяць. Отримано функціональну залежність середньомісячної сумарної сонячної енергії в залежності від географічної широти. [18]

Для досліджень та встановлення основних теплотехнічних характеристик було змонтовано комбіновану систему сонячного теплопостачання із геліовікном, що містить теплообмінник. Система досліджувалась в режимі циркуляції теплоносія без відбору теплоносія до споживача.

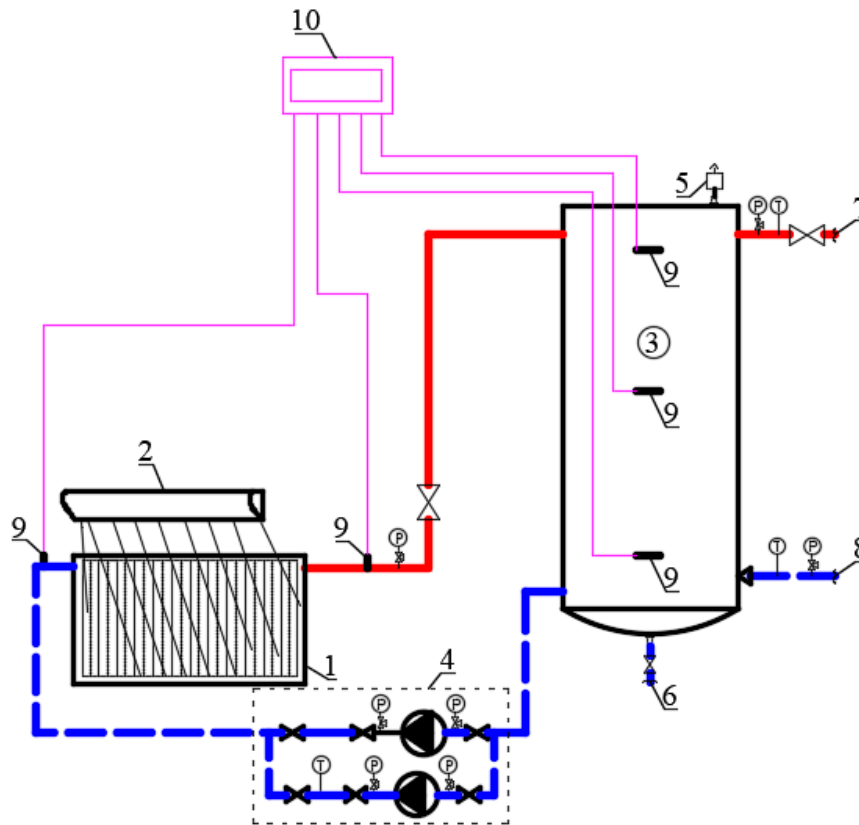
В лабораторних умовах експериментальна установка кожного разу перед початком експерименту була заповнена новою

кількістю теплоносія. Видалення повітря здійснювали через автоматичні повітровипускники встановлені в найвищих точках системи. Перед експериментами установка перевірялась гідравлічними випробуваннями на герметичність. Перевіряли справність вимірювальних приладів.

Комбінована система сонячного теплопостачання із геліовікном працює в режимі циркуляції (рис. 1) та досліджувалась за інтенсивності випромінювання імітатора сонячної енергії 600 Вт/м<sup>2</sup> та 900 Вт/м<sup>2</sup>. Принцип роботи полягає в наступному: сонячна енергія (в лабораторних умовах імітатор сонячної енергії) 2 нагріває теплоносії, який циркулює через геліовікно 1, що містить в рамі геліовікна вбудований теплообмінник (оребрений трубопровід). Цей теплоносії за допомогою групи циркуляційних насосів 4 та трубопроводів подається в бак-акумулятор 3. Відбір та подача теплоносія до споживача передбачена через патрубки 7 та 8 відповідно. зняття лабораторних показів записаних у журнал вимірювань проводилось з допомогою електронного регулятора температури 10, що включав в себе гільзові термометри опору (датчики температури) 9. Для контрольних замірів і гідравлічного випробування було передбачено осьові термометри з оправою та манометри з триходовим краном. Спуск теплоносія з системи передбачено через патрубок 6. За стан термодинамічної системи в установках відповідає температура. Тому, в першу чергу за досліджень теплоносія в режимі циркуляції було детально проаналізовано зміну температури теплоносія та її приріст.

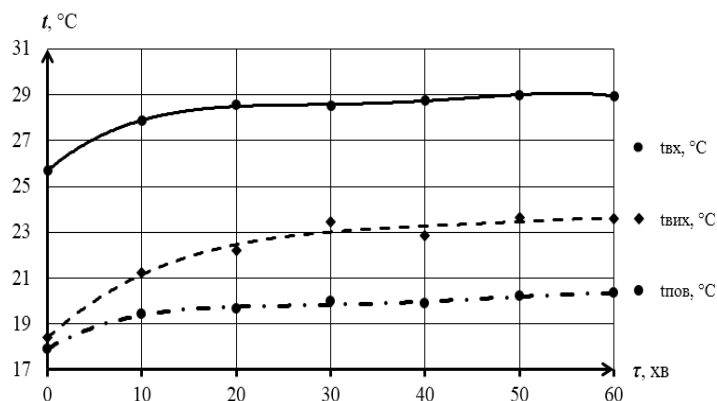
Наприклад, за інтенсивності сонячного випромінювання 900 Вт/м<sup>2</sup> температура на виході із геліовікна була більша на 26% ніж на вході за час експерименту. (рис. 2)

Приріст температури за інтенсивності сонячного випромінювання 600 Вт/м<sup>2</sup> досягав більше 4,5 °С впродовж експерименту. Усереднений приріст температури в баку-акумуляторі, враховуючи розшарування теплоносія в баку-акумуляторі становив 2,5 С на кінець експерименту.



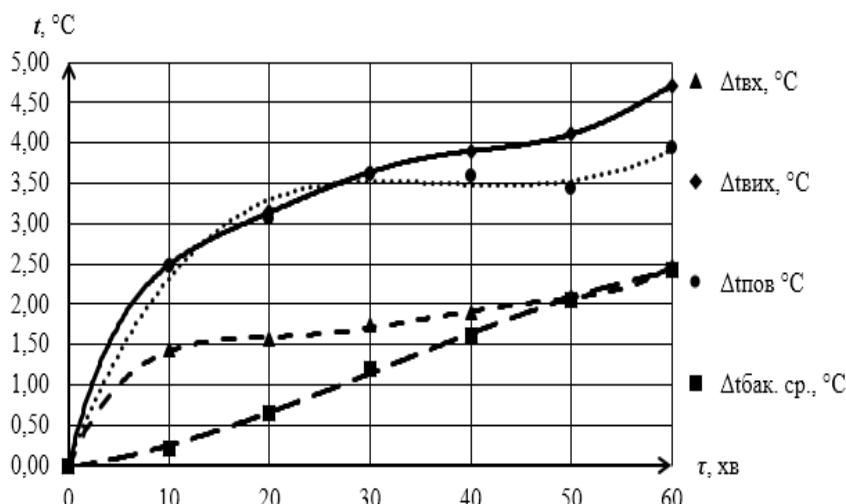
**Рис. 1.** Принципова схема досліджуваної комбінованої системи сонячного теплопостачання із геліовікном, де: 1 – геліовікно; 2 – джерело випромінювання; 3 – бак-акумулятор; 4 – група циркуляційних насосів; 5 – повітровипускний клапан; 6 – трубопровід дренажу теплоносія; 7 – трубопровід відбору теплоносія; 8 – трубопровід подачі теплоносія; 9 – термометри опору; 10 – електронний регулятор температури з дисплеєм.

**Fig. 1.** The schematic diagram of investigated of a combined system of solar heat supply with a solar window, where: 1 – solar window; 2 – light source; 3 – storage tank; 4 – a group of circulation pumps; 5 – air exhaust valve; 6 – the heat carrier drainage pipeline; 7 – the heat carrier selection pipeline; 8 – the heat carrier supply pipeline; 9 – resistance thermometer; 10 – electronic temperature controller with display.



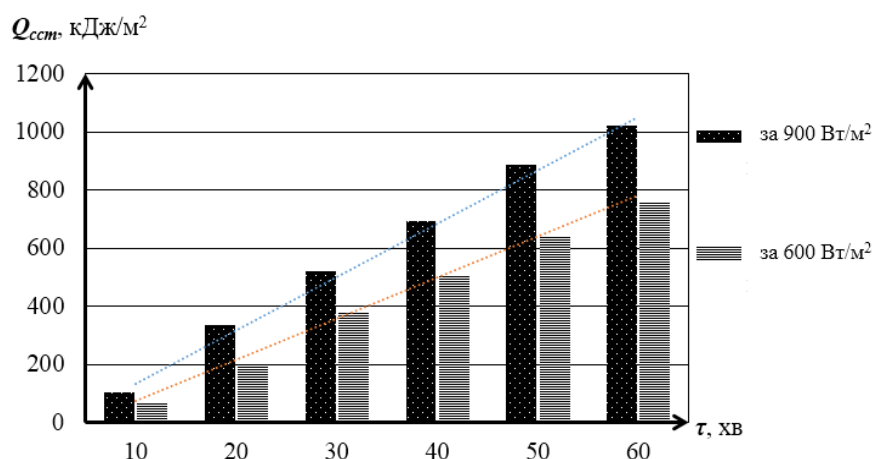
**Рис. 2.** Зміна температури нагріву теплоносія  $t$ , °C в системі сонячного теплопостачання із геліовікном за інтенсивності випромінювання  $900 \text{ Вт/м}^2$  впродовж експерименту в режимі циркуляції.

**Fig. 2.** The change in the heating temperature of the heat carrier  $t$ , °C in the solar heat supply system with a solar window by the radiation intensity of  $900 \text{ W/m}^2$  during the experiment in the circulation mode.



**Рис. 3.** Приріст температури теплоносія на вході  $\Delta t_{\text{вх}}$ , °C і виході  $\Delta t_{\text{вих}}$ , °C сонячного колектора, усередненої температури в баку-акумуляторі  $\Delta t_{\text{бак.ср.}}$ , °C та температура оточуючого середовища  $\Delta t_{\text{пов}}$ , °C впродовж експерименту за інтенсивності випромінювання:  $600 \text{ Вт/м}^2$  впродовж експерименту в режимі циркуляції.

**Fig. 3.** The increase in the temperature of the heat carrier at the inlet  $\Delta t_{\text{вх}}$ , °C and the outlet  $\Delta t_{\text{вих}}$ , °C solar collector, the average temperature in the accumulator tank  $\Delta t_{\text{бак.ср.}}$ , °C and ambient temperature  $\Delta t_{\text{пов}}$ , °C during the radiation intensity experiment  $600 \text{ W/m}^2$  in the circulation mode.



**Рис. 4.** Динаміка зміни накопичення тепла  $Q_{\text{сст}}$ , кДж/м<sup>2</sup> комбінованою системою сонячного теплопостачання із геліовікном впродовж експерименту за інтенсивності випромінювання  $600 \text{ Вт/м}^2$  та  $900 \text{ Вт/м}^2$  впродовж експерименту в режимі циркуляції.

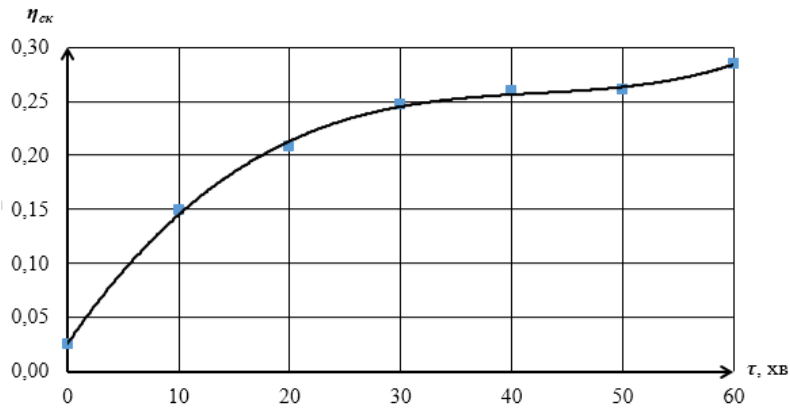
**Fig. 4.** The dynamics of changes in heat accumulation  $Q_{\text{сст}}$ , kJ/m<sup>2</sup> combined solar heating system with a solar window under the radiation intensity of  $600 \text{ W/m}^2$  and  $900 \text{ W/m}^2$  during the experiment in the circulation mode.

Важливим теплотехнічним параметром, що характеризує систему є акумуляція теплоти в системі. Порівнюючи динаміку зміни накопичення тепла  $Q_{\text{сст}}$ , кДж/м<sup>2</sup> встановлено, що на 60 хв експерименту за інтенсивності випромінювання  $900 \text{ Вт/м}^2$   $Q_{\text{сст}}$  було більше ніж  $1000 \text{ кДж/м}^2$ , що є меншим на 25% за інтенсивності випромінювання  $600 \text{ Вт/м}^2$  (рис. 4).

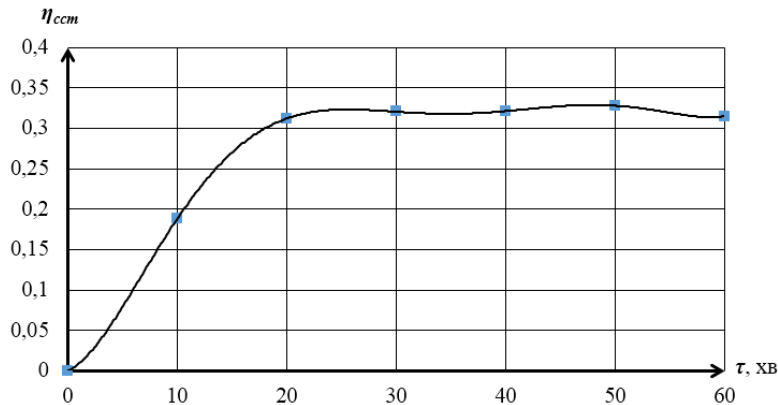
Коефіцієнт корисної дії геліовікна, в якості сонячного колектора, визначався за формулою:

$$\eta_{\text{ск}} = \frac{Q_{\text{ск}}}{I_{\text{г}}} \cdot 100\% \quad (1)$$

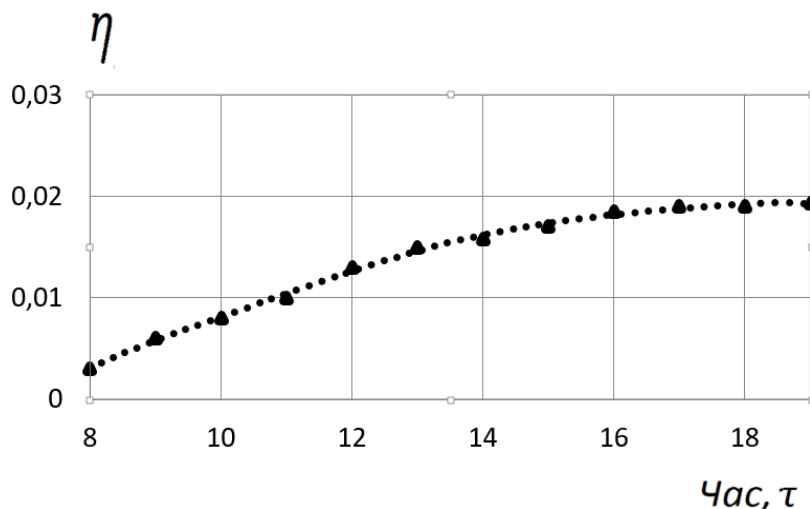
де  $Q_{\text{ск}}$  – питома миттєва теплова потужність геліовікна, Вт/м<sup>2</sup>;  $I_{\text{г}}$  – інтенсивність випромінювання джерела на поверхню геліовікна, Вт/м<sup>2</sup>.



**Рис. 5.** Зміна  $\eta_{ск}$  сонячного колектора впродовж експерименту за інтенсивності випромінювання  $600 \text{ Вт/м}^2$  впродовж експерименту в режимі циркуляції.  
**Fig. 5.** The change  $\eta_{ск}$  in the solar collector during the experiment on the radiation intensity of  $600 \text{ W/m}^2$  during the experiment in the circulation mode.



**Рис. 6.** Зміна ефективності комбінованої системи сонячного теплопостачання  $\eta_{сст}$  в цілому (за накопиченням теплової енергії в баку акумуляторі) за інтенсивності випромінювання  $900 \text{ Вт/м}^2$  впродовж експерименту в режимі циркуляції.  
**Fig. 6.** The change in the efficiency of the combined solar heat supply system  $\eta_{сст}$  as a whole (for the accumulation of thermal energy in the storage tank) by the radiation intensity of  $900 \text{ W/m}^2$  during the experiment in the circulation mode.



**Рис. 7.** Зміна коефіцієнта ексергетичної ефективності геліовікна.  
**Fig. 7.** The changing of the coefficient of exergy efficiency of the solar window.

Встановлено, що коефіцієнт корисної дії геліовікна в режимі циркуляції та за інтенсивності сонячного випромінювання  $600 \text{ Вт/м}^2$  становив 28% (рис. 5).

Ефективність комбінованої системи сонячного теплопостачання в цілому (за накопиченням теплової енергії в баку акумуляторі) за інтенсивності випромінювання  $900 \text{ Вт/м}^2$  впродовж експерименту в режимі циркуляції становив 33%.

Розрахунок ексергетичної ефективності проводився на основі даних досліджень в реальних умовах. Ексергія на вході у геліовікно, впродовж експерименту досягала свого максимуму ( $250 \text{ Вт/м}^2$ ) о 15.00 та наведена на Рисунку 7.

Як видно з вище наведених результатів досліджень, ексергетичний ККД становив в середньому 1,9 %, що відповідає середньому значенню помірноефективних геліоколекторів.

#### ВИСНОВКИ І ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Досліджено, що ефективність комбінованої системи сонячного теплопостачання із геліовікном в режимі циркуляції є ефективним джерелом низькопотенційної теплоти. Також, є вигідною споживачеві в економічному аспекті.

Крім цього, оскільки геліовікно попередньо може бути суміщене з існуючою конструкцією зовнішнього огороження, то воно може бути доступним споживачу в економічному аспекті, а також має достатній коефіцієнт корисної дії для суміщеного гарячого водопостачання чи попереднього нагріву теплоносія системи опалення.

Встановлено, що температура в запропонованому схемному рішенні досягала на виході із геліовікна на 26% більше ніж на вході за час експерименту. Усереднений приріст температури в баку-акумуляторі становив  $2,5 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Коефіцієнт корисної дії геліовікна в режимі циркуляції та за інтенсивності сонячного випромінювання  $600 \text{ Вт/м}^2$  становив 28%. Ексергія на вході у геліовікно досягала  $250 \text{ Вт/м}^2$ .

#### ЛІТЕРАТУРА

1. **Zhelykh, V., Kozak, Kh., Dzeryn, O., Pashkevych, V.** Pashkevych Physical modeling of thermal processes of the air solar collector with flow turbulators. *Energy engineering and control systems*. 2018. P. 9-16.
2. **Hazami, M., Kooli, S., Lazaar, M., Farhat, A., Belghith, A.** Thermal performance of a solar heat storage accumulator used for greenhouses conditioning. *Amer. J. of environmental sciences*. 2005. № 1 (4). P. 270-277.
3. **Voznyak, O., Shapoval, S., Kasynets, M., Kapalo, P.** Zvýšenie efektivity systémov zasobovania teplom s využitím slnečnej energie s slnečnými kolektormi a solárnymi panelmi. *Plynár-vodár-kúrenár*. Košice, 2012. № 3. P. 32-34.
4. **Накашидзе Л.В., Шевченко М.В.** Геліоколектор-енергоактивне огороження як елемент системи кліматизації споруд. *Строительство, материаловедение, машиностроение*. 2017. №99. С. 127-135.
5. **Kurbatova, T., Khlyap, H.** State and economic prospects of developing potential of non-renewable and renewable energy resources in Ukraine. *Renewable and sustainable energy reviews*. 2015. №52. С. 217–226.
6. **Solar Ukraine 2019** [Електронний ресурс]. Company "Euroindex". 2019. URL : [www.solarukraine.com.ua](http://www.solarukraine.com.ua).
7. **Child, M., Breyer, C., Bogdanov, D., Fell, H.** The role of storage technologies for the transition to a 100% renewable energy system in Ukraine Fell. *Energy Procedia*. 2017. №135. С. 410-423.
8. **Voznyak, O., Shapoval, S., Kasynets, M.** Rise of effective use of solar energy in combined solar heaters. *Mater. XIII International scientific conference "Current issues of civil and environmental engineering in Kosice, Lviv and Rzeszow"*, 7-9 September 2011. 2011.
9. **Installation Guide.** In *Roof Flat Plate Solar Collector Mounting – UK: Baxi Heating*, 2007. 20 p.
10. **Hantula R.** *Science in the Real World: How Do Solar Panels Work?* NY : Chelsea House Publishers, 2010. 32 p.
11. **Wiśniewski, G. Gołębiowski, S., Grzciuk, M.** *Kolektorz Słoneczne: energia słoneczna w mieszkalnictwie, hotelarstwie i drobnym przemyśle*. W.: Medium, 2008. 201 p.
12. **Grassmann, H., Huaman, A., Kapllaj, E.** First Measurements with a Linear Mirror De-

- vice of Second Generation. Smart Grid and Renewable Energy. 2013. №4. P. 253–258.
13. **Girerd, S., Greer, Burns, Crain.** Solar cell panel and solar energy collecting device. / S. Girerd, Greer, Burns, Crain // Пат. 6513518 США. N 09/674030. Опубл. 02.04.2003.
  14. **Ronc, M., Bacon, Thomas.** Solar energy absorbing roof / M. Ronc, Bacon, Thomas // Пат. 4201193 США. N 05/887938. Опубл. 6.05.1980.
  15. **Neumann, F., Patschke, M., Schoennenbeck, M., Cherin, E., Mellott.** Heliothermal flat collector module having a sandwich structure. Пат. 7610911 США. N 10/530384. Опубл. 11.03.2009.
  16. **Мисак Й.С., Возняк О.Т., Дацько О.С.** Сонячна енергетика: теорія та практика: монографія. Л. : Львів. політехн., 2014. 340 с.
  17. **Shapoval, S., Venhryn, I.** The efficiency of the solar collector in gravity mode in the southern orientation. 5th International youth science forum 'Litteries et artibus'. Lviv Polytechnic. С. 124-126.
  18. **Желих В.М., Шаповал С.П., Венгрин І.І.** Потенціал сонячної енергії в Україні для використання низькотемпературними геліопанелями. Зб. тез 3-го міжнар. Конг. "Захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування". Львів, 17-19 вересня 2014. НУ "ЛП". С. 80.
- REFERENCES
1. **Zhelykh, V., Kozak, Kh., Dzeryn, O., Pashkevych, V. (2018).** Physical modeling of thermal processes of the air solar collector with flow turbulators. Energy Engineering and Control Systems, 9-16.
  2. **Hazami, M., Kooli, S., Lazaar, M., Farhat, A., Belghith, A. (2005).** Thermal performance of a solar heat storage accumulator used for greenhouses conditioning. *Amer. J. of Environmental Sciences.*, 1 (4), 270-277.
  3. **Voznyak, O., Shapoval, S., Kasynets, M., Kapalo, P. (2012).** Zvýšenie efektivity systémov zasobovania teplotom s využitím slnečnej energie s slnečnými kolektormi a solárnymi panelmi. *Plynár-vodár-kúrenár.* Košice, 3, 32-34.
  4. **Nakashidze, L., Shevchenko, M. (2017).** Helio-collector-energy-active fencing as an element of the system of air conditioning of buildings. *Building, Materials Science, Machine Building*, 99, 127-135.
  5. **Kurbatova, T., Khlyap, H. (2015).** State and economic prospects of developing potential of non-renewable and renewable energy resources in Ukraine. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 52, 217–226.
  6. **Solar Ukraine 2019. (2019).** Company "Euroindex". URL : [www.solarukraine.com.ua](http://www.solarukraine.com.ua).
  7. **Child, M., Breyer, C., Bogdanov, D., Fell, H. (2017).** The role of storage technologies for the transition to a 100% renewable energy system in Ukraine. *Energy Procedia*, 135, 410–423.
  8. **Voznyak, O., Shapoval, S., Kasynets, M. (2011).** Rise of effective use of solar energy in combined solar heaters. Mater. XIII International scientific conference "Current issues of civil and environmental engineering in Kosice, Lviv and Rzeszow". 7-9.09.11. Kosice.
  9. **Installation Guide (2007).** In Roof Flat Plate Solar Collector Mounting. UK: Baxi Heating, 20.
  10. **Hantula, R. (2010).** Science in the Real World: How Do Solar Panels Work? NY : Chelsea House Publishers, 32.
  11. **Wiśniewski, G. Gołębiowski, S., Grzciuk, M. (2008).** Kolektor słoneczny: energia słoneczna w mieszkalnictwie, hotelarstwie i drobnym przemyśle. W. : Medium, 201.
  12. **Grassmann, H., Huaman, A., Kapllaj, E. (2013).** First measurements with a linear mirror device of second generation. Smart Grid and Renewable Energy, 4, 253–258.
  13. **Girerd, S., Greer, Burns, Crain (2003).** Solar cell panel and solar energy collecting device. 6513518 USA. N 09/674030. Publ. 02.04.2003.
  14. **Ronc, M., Bacon, Thomas (1980).** Solar energy absorbing roof. 4201193 USA. N 05/887938. 6.05.1980.
  15. **Neumann, F., Patschke, M., Schoennenbeck, M., Cherin, E., Mellott. (2009).** Heliothermal flat collector module having a sandwich structure. 7610911 USA. N 10/530384. 11.03.2009.
  16. **Mysak, J. Wozniak, O., Datsko, O., Shapoval, S. (2014).** Solar Power. Theory and practice: Monograph. L. : Lviv Polytechnic, 340.
  17. **Shapoval, S., Venhryn, I. (2016).** The efficiency of the solar collector in gravity mode in the southern orientation. 5th International youth science forum 'Litteries et artibus'. Lviv Polytechnic, 124-126.
  18. **Zhelykh, V., Shapoval, S., Venhryn, I. (2014).** Potential of solar energy in Ukraine for use with low-temperature solar panels. Theses of the 3rd International Congress "Environmental protection: Energy conservation. Balanced natural resources". Lviv, September 17-19, 2014. nat. in-tion "LP", 80.



**Exergy and energy characteristics of the combined solar window with built-in heat exchanger**

*Stepan Sapoval, Vasyl Zhelykh,  
Volodymyr Shepitchak*

**Abstract.** The non-renewable energy includes three main fuels - coal, oil and natural gas. Fossil fuels provide more than 90% of the world's energy. In addition, traditional fuels are relatively easy to use for energy production because they require simple direct combustion. However, the problem with fossil fuels is their impact on the environment. Renewable energy is an alternative to this problem.

The paper deals with non-traditional energy, namely in the direction of the use of solar installations. Intensification of the use of solar energy caused by the fact that such energy can be effectively transformed into thermal or electrical energy and can be used for the household needs of the consumer. In Ukraine, however, due to the complexity of sleep and the high cost of the imported plant, the installation of components such as solar

collectors, photo collectors, PV modules, etc., is not widely spread. In labor, a schematic solution of a combined solar heating system with a solar window is proposed, has a built-in heat exchanger. Such a circuit design allows even at the design stage to mount the solar exterior design of the building.

The study of the system is considered in the laboratory on the radiation intensity of the solar energy simulator 600 W/m<sup>2</sup> and 900 W/m<sup>2</sup>, as well as in the circulation of the heat carrier in the system.

The paper considers the dynamics of change of temperature of heating the heat carrier in the system and in the accumulator tank in the mode of circulation of the heat carrier. In addition, the change in heat accumulation by the combined solar heat supply system as a whole is established. The data characterizing the efficiency of the solar collector and the system as a whole with the accumulation of thermal energy in the storage tank are presented

**Keywords.** Solar energy; the solar wall; the flow mode; the heat carrier temperature; the efficiency.