

**ІННОВАЦІЙНІ МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ  
ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ БУДІВЕЛЬ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ  
ГІБРИДНИХ ГЕЛІОКОЛЕКТОРІВ**

**INNOVATIVE METHODS OF INCREASING THE ENERGY  
EFFICIENCY OF BUILDINGS USING HYBRID SOLAR COLLECTORS**

**Шаповал С.П., д.т.н., проф., Пришляк Ю.В., аспірант, Мисак С.Й., к.т.н., доцент, Касинець М.Є., к.т.н., доцент (Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів), Кригуль Р.Є., к.т.н., доцент (Львівський національний університет природокористування, м. Дубляни)**

**Shapoval S.P., Doctor of Engineering, Professor, Pryshliak Y.V., Postgraduate, Mysak S.Y., Ph.D. in Engineering, Associate Professor, Kasynets M.E., Ph.D. in Engineering, Associate Professor (National University "Lviv Polytechnic"), Krygul R.Y., Ph.D. in Engineering, Associate Professor (Lviv national environmental university)**

*Дослідження, що представлені в цій статті, спрямовані на підвищення енергоефективності гібридних сонячних колекторів без прозорого покриття для систем теплозабезпечення будівель. Однією з найважливіших проблем у секторі сонячної енергетики є розробка нових технологій для досягнення високих показників збору сонячної енергії та їх інтеграції в традиційні системи опалення та гарячого водопостачання. Дані дослідження показують, що гібридний сонячний колектор з трубками циркуляції теплоносія, розташованими над теплопоглиначем, може досягати покращеного коефіцієнта теплової ефективності за певної зміни кута нахилу та інтенсивності сонячного випромінювання. На основі проведених досліджень та їх аналізу розроблено номограму для визначення залежності цього коефіцієнта від кута нахилу та інтенсивності сонячного випромінювання.*

*The use of new technologies in construction and the development of energy-saving properties of materials have prompted the development of effective methods for collecting solar energy and its further utilization in heating systems for buildings of various purposes. However, the collection and storage of obtained heat are accompanied by certain losses associated with climatic conditions, geographical location, structural features of solar system elements, and the correct choice of solar collector type. These issues are among the main challenges in solar energy.*

*These problems can be addressed through innovative integration methods by introducing new elements into the design of solar thermal converters. Experiments show that the use of hybrid solar thermal collectors is one way to increase the efficiency of widespread solar energy systems. This article examines the construction of a solar collector with circulation tubes placed on a heat-absorbing surface without transparent*

covering. A solar system with natural circulation of the heat transfer fluid - water is analyzed.

Based on experiments, a nomogram of the dependence between the thermal efficiency coefficient  $K_{ef}$ , the inclination angles  $\alpha$  and  $\beta$  of the hybrid solar collector, and the intensity of the radiant flux  $I_v$  has been developed. Using this nomogram, a functional dependence has been obtained, which allows for the precise determination of the thermal efficiency coefficient taking into account the input parameters. Calculations have shown that for a given inclination angle and corresponding solar radiation intensity, the value of  $K_{ef}$  increases and can reach 50%.

These studies indicate the necessity of using hybrid solar collectors to ensure efficient collection of solar energy in various climatic conditions and emphasize the importance of further research and improvement of the design of such systems to reduce environmental pollution and enhance the stability of heating systems.

*Ключові слова:* енергоефективність, сонячна енергетика, гібридний сонячний колектор, коефіцієнт теплової ефективності, інтенсивність сонячного випромінювання

*Keywords:* energy efficiency, solar energy, hybrid solar collector, thermal efficiency coefficient, solar radiation.

## **Вступ**

Неконтрольовані викиди шкідливих речовин промислових підприємств, зростання кількості тваринницьких ферм, життєдіяльність людей призводить до забруднення навколишнього середовища, що вимагає інтенсифікації використання сонячної енергії, яка може ефективно та швидко трансформуватись в теплову або електричну і далі використовуватись на потреби систем опалення та гарячого водопостачання. На сьогодні важливим завданням для інженерів та дослідників є модернізувати існуючі геліоколектори та системи сонячного теплопостачання, щоб їх можна було легко інтегрувати в традиційні системи теплозабезпечення та широко використовувати на практиці. Більшість комбінованих геліоколекторів, які існують на ринку, не можуть забезпечити ефективний збір сонячної енергії протягом дня. Така особливість пояснюється відсутністю одночасно енергоефективних та недорогих конструкцій сонячних колекторів. Тому необхідний подальший аналіз останніх досліджень в сфері геліоенергетики для вдосконалення існуючих і розробки нових геліоколекторів.

## **Аналіз останніх досліджень**

На сьогодні розвиток енергетичного обладнання потребує нових рішень [1]. Зокрема це стосується сфери альтернативних джерел енергії, де окреме місце займають системи теплозабезпечення будівель за допомогою сонячних колекторів [2], [3]. Досліджуючи такі системи, найперспективнішими являються заходи, які сприяють впровадженню сучасних енергоефективних гібридних сонячних колекторів, які можуть

одночасно виконувати роль захищення будівлі [4],[5]. Так як потенціал енергії сонця на місці встановлення геліоколекторів є різний [6], [7], потрібні подальші дослідження теплових характеристик для вдосконалення конструкції та елементів сонячних систем [8]. Для ефективної інтеграції в архітектуру будівель використовують елементи з полімерів або з металу [9], [10].

### **Постановка мети і задач досліджень**

Головною метою даної роботи є визначення коефіцієнта теплової ефективності гібридного сонячного колектора, в якому відсутнє прозоре покриття, і в якому циркуляційні трубопроводи розміщені над теплопоглиначем у системі сонячного теплопостачання із природньою циркуляцією теплоносія залежно від кутів надходження та густини потоку випромінювання.

### **Методика проведення досліджень**

Розглянувши та проаналізувавши конструкції існуючих гібридних та комбінованих систем сонячного теплопостачання було запропоновано нову конструкцію гібридного геліоколектора, що є частиною захищення будівлі. Тому потрібно провести наступні дослідження для встановлення його теплотехнічних характеристик.

Особливістю конструкції запропонованого гібридного сонячного колектора є відсутність прозорого покриття та розміщення циркуляційних трубопроводів над теплопоглиначем геліопокриття. Такі заходи зроблені для збільшення площі теплопоглинання сонячного випромінювання. Авторами розглянуто випадок, коли проводиться заміна елементів покрівлі або реконструюється дах будівлі.

Схема експериментальної установки для проведення досліджень теплових характеристик гібридного геліоколектора зображена на рисунку 1.

За допомогою експериментального стенда проводились вимірювання температури теплоносія – води у подавальному та зворотньому патрубках геліоколектора. Дослідження проводились для різної інтенсивності потоку випромінювання, так як вона змінюється протягом дня.

Наступним кроком було математичне планування експерименту. Як результат – складена матриця з трьома факторами впливу, де коефіцієнт теплової ефективності  $K_{ef}$  є функцією відгуку.

На основі отриманих даних досліджень побудовано графіки (рисунком 2).

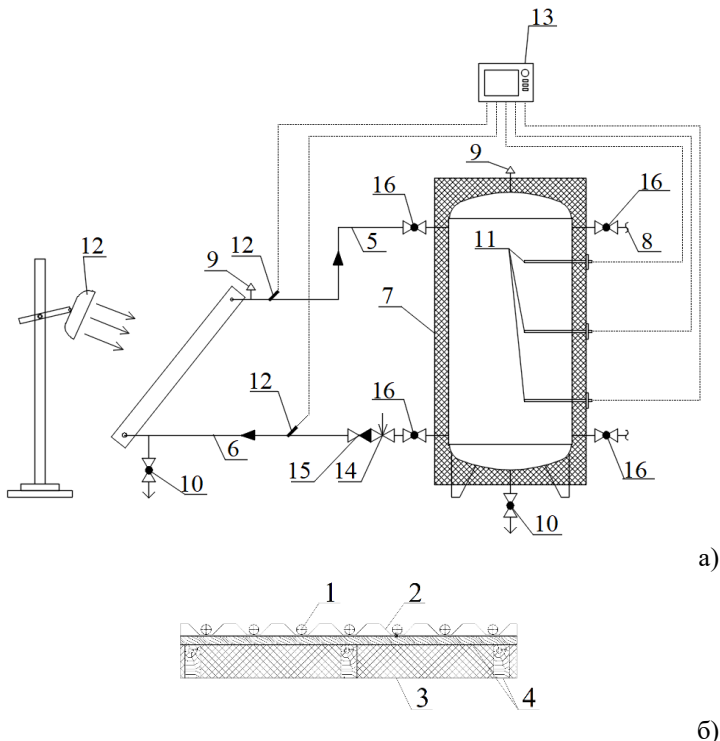


Рисунок 1 – Схема експериментальної установки (а) та гібридного геліоколектора (б): 1 – трубопроводи циркуляції теплоносія; 2 – покрівля будівлі (теплопоглинач); 3 – теплоізоляція; 4 – елементи конструкції перекриття; 5 – подаючий трубопровід; 6 – зворотний трубопровід; 7 – бак-аккумулятор; 8 – патрубок подачі теплоносія споживачу; 9 – повітровипускник; 10 – кран для зливу теплоносія; 11 – датчики температури; 12 – джерело випромінювання; 13 – цифровий дисплей; 14 – балансувальний вентиль; 15 – зворотний клапан; 16 – запірні крани

З рисунка 2 видно, що температура теплоносія на виході з гібридного геліоколектора при густині інтенсивності сонячного випромінювання  $300 \text{ Вт/м}^2$ , змінювалась від  $13$  до  $30 \text{ }^\circ\text{C}$ . При збільшенні величини до  $600 \text{ Вт/м}^2$ , температура теплоносія зросла до  $35 \text{ }^\circ\text{C}$ . Це вказує на те, що використання гібридних геліоколекторів, збільшує ефективність отримання теплової енергії за різних кліматичних умов і можна здійснювати теплозабезпечення в системах з високими температурами теплоносія.

## Результати проведених експериментів

Дослідження показали, що коефіцієнт теплової ефективності гібридного сонячного колектора без прозорого покриття, в якому циркуляційні трубопроводи знаходяться над абсорбером при зміні кутів надходження сонячних променів  $\alpha$  і  $\beta$  від  $30^\circ$  до  $90^\circ$ , збільшився на 50%.

На основі отриманих даних побудовано номограму, яка показує взаємозв'язок коефіцієнта теплової ефективності  $K_{ef}$  та кутів надходження сонячного випромінювання  $\alpha$  і  $\beta$  на площину теплопоглинача геліоколектора (рисунок 3).

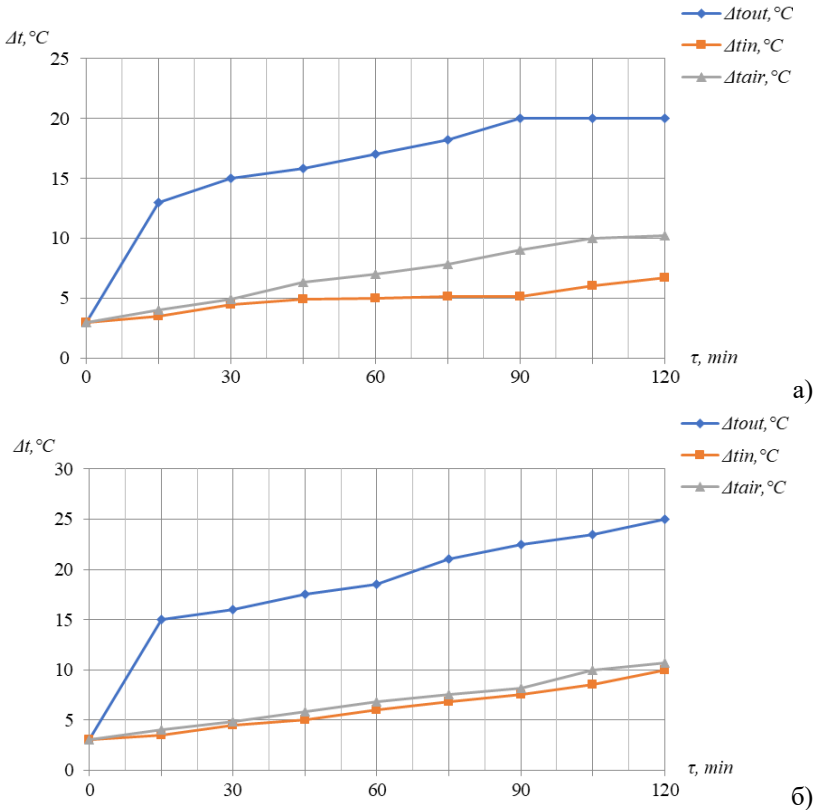


Рисунок 2 – Зміна температур теплоносія у вхідному  $\Delta t_{out}$  та вихідному  $\Delta t_{in}$  патрубках гібридного сонячного колектора без прозорого покриття з трубками контуру циркуляції теплоносія над теплопоглиначем у теплоаккумуляторі за кутів надходження потоку випромінювання  $\alpha = 60^\circ$  і  $\beta = 60^\circ$  та його густини  $I_s = 300 \text{ Вт/м}^2$  (а);  $I_s = 600 \text{ Вт/м}^2$  (б) при температурі зовнішнього середовища  $\Delta t_{air}$ .

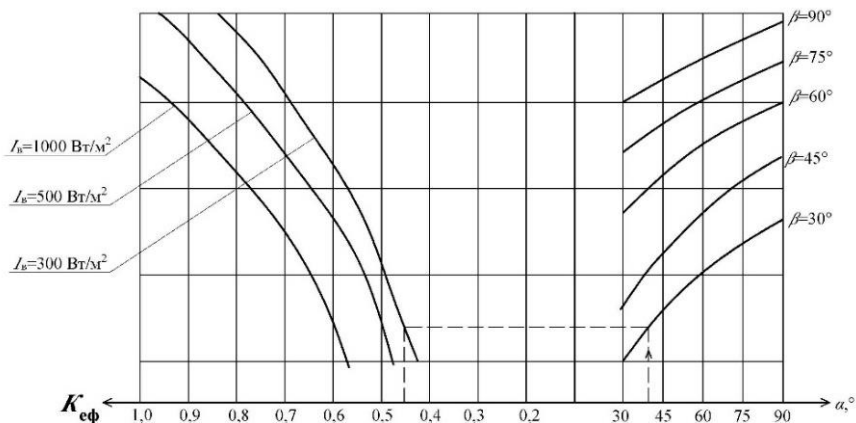


Рисунок 3 – Номограма взаємозв'язку  $K_{эф}$  геліопокриття і кутів надходження  $\alpha$  і  $\beta$  та інтенсивності сонячного випромінювання  $I_0$

За вищенаведеною номограмою взаємозв'язку коефіцієнта теплової ефективності і кутів нахилу сонячного випромінювання  $\alpha$  і  $\beta$ , а також інтенсивності сонячного випромінювання  $I_0$ , що дає можливість точно визначати коефіцієнт теплової ефективності для конкретних параметрів і вхідних даних, отримано таку функціональну залежність:

$$K_{эф} = (0,1108 + 0,0005 \cdot I_0) + (0,0003 + 3,5 \cdot 10^{-6} \cdot I_0) \cdot \alpha + (0,0082 - 1,7167 \cdot 10^{-5} \cdot I_0) \cdot \beta + (6,173 \cdot 10^{-6} - 2,778 \cdot 10^{-8} \cdot I_0) \cdot \alpha^2 + (4,1667 \cdot 10^{-5} - 4,6667 \cdot 10^{-8} \cdot I_0) \cdot \alpha \cdot \beta + (-5,679 \cdot 10^{-5} + 1,6667 \cdot 10^{-7} \cdot I_0) \cdot \beta^2$$

Користуючись вищенаведеною залежністю можна отримати значення коефіцієнта теплової ефективності гібридного сонячного колектора без прозорого покриття, в якому циркуляційні трубопроводи знаходяться над абсорбером у системі із природньою циркуляцією теплоносія – води в залежності від кутів надходження  $\alpha$  і  $\beta$  та інтенсивності сонячного випромінювання  $I_0$ .

### Висновки

Згідно з результатами проведених експериментів, коефіцієнт теплової ефективності гібридних сонячних колекторів без прозорого покриття, де циркуляційні трубопроводи розміщені над теплопоглиначем збільшився на значну величину, а саме на 50%. Цей ефект був виявлений при зміні кутів нахилу  $\alpha$  і  $\beta$  від 30° до 90° та інтенсивності сонячного випромінювання від 300 Вт/м<sup>2</sup> до 900 Вт/м<sup>2</sup>.

### References

1. О. Адамєнко, В. Височанський, В. Л'отко, М. Мухайлів. Альтернативні палива та інші нетрадиційні джерела енергії. Івано-Франківськ: Полум'я, 2000. – 208 с.
2. Belal Brahim. Sonjachni systemy teplo- i holodopostachannja : avtoref. dys. na zdobuttja nauk. stupenja kand. tehn. nauk: spec. 05.04.03. Holodylna ta kriogenna tehnik, systemy kondycijuvannja. – Odesa, 2002. – 17 s.

3. Dakovski M., S. Vjanckovski. Pro energetyku dlja spozhyvachyv ta skeptykiv. L'viv: EKOinform, 2007. – 212 s.
4. Davydenko Je. P. Pasyvne vykorystannja sonjachnoi' energii' v arhitekturnyh formah // Energoefektyvnist' v budivnytvi ta arhitekturi. – 2016. – Vyp.8. – S. 107–112.
5. Shapoval S., Kasynets M., Gulai B., Prishlyak Y. Building heat supply system based on hybrid solar collectors // Theory and Building Practice. – 2023. – Vol. 5, № 2. – P. 55–60. <https://doi.org/10.23939/jtbp2023.02.055>
6. Zhelyh V. M., Shapoval S. P., Vengryn I. I. Potencial sonjachnoi' energii' v Ukraini dlja vykorystannja nyz'kotemperaturnymy geliopaneljamy // Zahyst navkolnyshn'ogo seredovyshha. Energooshhadnist'. Zbalansovane pryrodokorystuvannja: 3-j Mizhnarodnyj kongres, L'viv, 17–19 veresnja 2014 r.: zbirnyk materialiv / L'vivs'ka obldierzhadministracija, Nacional'nyj universytet "L'vivs'ka politehnika", Zahidnyj naukovyj centr NAN Ukrainy i MON Ukrainy, Vseukrai'ns'ka ekologichna liga. – L'viv : Vyd–tvo L'vivs'koj politehniky, 2014. – S. 82.
7. Koronenko O. Svitovi tendencii' vykorystannja sonjachnoi' energii' // Zelena energetyka. – 2009. – №2 (34). – S. 6.
8. Zhelyh V. M., Lesyk H. R. Vyznachennja teplovyh charakterystyk termosifonnogo sonjachnogo kolektora // Visnyk Nacional'nogo universytetu "L'vivs'ka politehnika". – 2012. – № 742 : Teoriya i praktyka budivnytva. – S. 75–78.
9. Kazakov G. V. Sonjachni budynky: typologichna klasyfikacija /G. V. Kazakov // Visnyk Nacional'nogo universytetu "L'vivs'ka politehnika". – 2012. – № 728 : Arhitektura. – S. 235 – 240.
10. Doroshenko, A. V., & Khalak, V. F. (2018). Sonjachni polimerni ridynni kolektory. Analiz najavnyh rezul'tativ, novi rishennja. Refrigeration Engineering and Technology, 54(5), 44–52. <https://doi.org/10.15673/ret.v54i5.1250>

#### Література

1. О. Адаменко, В. Височанський, В. Лютко, М. Михайлів. Альтернативні палива та інші нетрадиційні джерела енергії. Івано-Франківськ: Полум'я, 2000. – 208 с.
2. Белал Брахим. *Сонячні системи тепло- і холодопостачання* : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.04.03. Холодильна та криогенна техніка, системи кондиціонування. – Одеса, 2002. – 17 с.
3. Даковські М., С. Вяницьковські. *Про енергетику для споживачів та скептиків*. Львів: ЕКОінформ, 2007. – 212 с.
4. Давиденко Є. П. *Пасивне використання сонячної енергії в архітектурних формах* // Енергоефективність в будівництві та архітектурі. – 2016. – Вип.8. – С. 107–112
5. Шаповал С., Гулай Б., Касинець М., Пришляк Ю. Система теплозабезпечення будівель на основі гібридних сонячних колекторів // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". – 2023. – № 742 : Теорія і практика будівництва. – С. 75–78. <https://doi.org/10.23939/jtbp2023.02.055>
6. Желих В. М., Шаповал С. П., Венгрин І. І. *Потенціал сонячної енергії в Україні для використання низькотемпературними геліопанелями* // Захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування: 3-й Міжнародний конгрес, Львів, 17–19 вересня 2014 р.: збірник матеріалів / Львівська облдержадміністрація, Національний університет "Львівська політехніка", Західний науковий центр НАН України і МОН України, Всеукраїнська екологічна ліга. – Львів : Вид–тво Львівської політехніки, 2014. – С. 82.
7. Короненко О. *Світлові тенденції використання сонячної енергії* // Зелена енергетика. – 2009. – №2 (34). – С. 6.
8. Желих В. М., Лесик Х. Р. *Визначення теплових характеристик termosифонного сонячного колектора* // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". – 2012. – 5(2) : Теорія і практика будівництва. – С. 55–60.
9. Казаков Г. В. *Сонячні будинки: типологічна класифікація* /Г. В. Казаков // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". – 2012. – № 728 : Архітектура. – С. 235 – 240.
10. Doroshenko, A. V., & Khalak, V. F. (2018). *Сонячні полімерні рідинні колектори. Аналіз наявних результатів, нові рішення*. Refrigeration Engineering and Technology, 54(5), 44–52. <https://doi.org/10.15673/ret.v54i5.1250>