

УДК 620.97:697.329

Технології теплозабезпечення енергоефективних будинків із використанням геліоогороджень

С. П. Шаповал¹, В. М. Желих², М. Улевич³, В.Б.Шепітчак⁴

¹к.т.н., доцент, Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів, Україна, shapovalstepan@gmail.com,
ORCID: 0000-0003-4985-0930

²д.т.н., проф. Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів, Україна, v_zhelykh@msn.com,
ORCID: 0000-0002-5063-5077

³д.т.н., доц. Ченстоховська політехніка, Ченстохова, Польща, ulewicz@bud.pcz.czest.pl, ORCID: 0000-0001-8766-8393

⁴к.т.н., ст. викл., Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів, Україна, shepitchak@gmail.com

Анотація. Актуальним питанням сьогодення є принцип енергоощадності та раціонального використання енергоресурсів. Втручання в глобальні процеси природи не можливе без змін побуту в суспільстві. Зокрема, необхідне вдосконалення приміщень, у яких проживають люди, а саме їхніх будівельних конструкцій, фундаментів або матеріалів для виготовлення таких конструкцій. Удосконалення та розробка нових сонячних установок є важливою задачею підвищення енергоефективності будівель. У статті розглянуто питання геліоогороджень, таких як геліостіна, геліовікно та геліопокрівля. Наведено дані зміни температури теплоносія геліостіни та надходжень кількості питомої миттєвої теплової потужності в часі. Досліджено, що за інтенсивності сонячної енергії 900 Вт/м² температура на виході геліостіни становила 40 °С та поступово збільшувалась зі стабілізацією системи. Тоді, як геліоогородження із геліопокрівлею за інтенсивності теплового потоку $I_e = 300 \text{ Вт/м}^2$ мало варіювання коефіцієнта корисної дії від 0,73 до 0,47 при зміні кутів падіння від 30° до 90°. У праці проаналізовано ефективність геліоогородження із геліовікном за умов південної орієнтації останнього відносно сторін горизонту. Встановлено, що запропоновані моделі геліоогороджень є достатньо ефективними і можуть використовуватись у системах сонячного теплопостачання.

Ключові слова: геліоогородження, геліостіна, геліопокрівля, геліовікно.

Вступ. Актуальним питанням сьогодення є принцип енергоощадливості та раціонального використання енергоресурсів. Для України енергетична сфера є особливо важливою, оскільки саме вона в основному, впливає на стан національної економіки.

Реорганізація технологічної структури промислового та житлово-комунального секторів України з використанням науково-технічних розробок дозволить суттєво збалансувати стан споживання органічного виходного палива через збільшення частки споживання відновлюваних джерел енергії. Результатом такого раціонального поєднання буде зменшення антропогенного навантаження на довкілля та збереження обмежених у часі природних ресурсів.

Сонячні установки відрізняються конструктивними та техніко-економічними показниками. Важливим питанням сьогодення, крім вибору альтернативних джерел енергії, є удосконалення вже відомих сонячних установок та розробка нових геліоогороджень які будуть покращені у теплотехнічному співвідношенні.

Актуальність дослідження. Комфортне існування людини в сучасному світі неможливе без високого споживання енергії. У 60-их роках ХХ ст. населення споживало $\approx 50\%$ того обсягу

енергії, що споживає населення в ХХІ ст. Це пов'язано насамперед з тим, що використання енергії стало фундаментом різноманітних процесів, а також енергія стала більш доступною для використання. Таке збільшення використання енергії є першопричиною сучасних глобальних проблем, серед яких дефіцит енергоносіїв та глобального потепління. Це обумовило особливе ставлення до відновлюваної енергетики, а саме вивід її з ряду перспективних ексклюзивних напрямків у ряд необхідних для застосування.

У середньому на одного мешканця планети Земля нараховується 2,5 т у. п. енергоресурсів. У перспективі до 2100 року населення Землі зросте до 10 млрд., а середні питомі енергоресурси – до 10 т у.п., тобто в цілому енерговидобування досягне 100 млрд т у.п. [1]. Рівень забруднення атмосфери теж невпинно зростатиме, що спричинить повільне руйнування біосфери. За даними групи американських інженерів, у 1800 році на 1 млн. молекул повітря припадало 280 молекул двоокису вуглецю, у 1960 році їх вже було 315, а на початку ХХІ століття – 370. До кінця цього століття це число може зрости до 550, що спричинить середнє підвищення температури від 3 до 6°C [2].

За даними Carrington College у світі можливий розвиток Енергетичної революції. Так,

порівняння базового сценарію споживання первинної енергії та сценарію з упровадженням відновлюваних джерел до 2050 року показує, що світ може скоротити використання невідновлюваних джерел енергії практично в 1,5 рази [3].

Останні дослідження та публікації. Найбільш потужним відновлюваним джерелом енергії для людства є Сонце. Щорічна кількість сонячної енергії майже в 15 000 разів перевищує потреби населення нашої планети, але лише невелика його частина використовується для економічних потреб. Американський науковець Джон Рікардо Коул узагальнено стверджує, що світ стоїть на порозі «Ери сонячної енергетики» [4].

Клімат України дає можливість широкого використання сонячної енергії. Відомі різні конструкції геліоустановок, що містять захисне покриття, теплоізоляційний шар та розташований між ними теплопровідний шар [5, 6].

Плоский колектор – найпоширеніший вид сонячних колекторів, у якому скорочені втрати теплоти з боків та задньої поверхні. Плоскі колектори використовуються в низькотемпературних процесах до 80 °С. Для вищої температури необхідні системи з концентраторами [7]. Для впровадження сонячних теплових установок слід оптимізувати енергоефективні зовнішні огороження шляхом правильного встановлення та проектування цих установок при різних орієнтаціях зовнішніх огорожень [8].

Формулювання цілей статті. Мета роботи запропонувати економічно вигідні та ефективні конструкції геліоогорожень без втрати ефективності існуючих систем, а також, дослідити запропоновані конструкції геліоогорожень та визначити їхні теплові характеристики.

Основна частина. У дослідженнях використані запропоновані дослідні установки геліоогорожень, а саме геліостіни, геліопокрівлі та геліовікна, у системах сонячного теплопостачання, з подальшим аналізом їхнього коефіцієнта корисної дії. Конструкція геліостіни є універсальним рішенням економії невідновлюваних енергоресурсів та коштів споживача, оскільки це поєднання зовнішнього огороження та сонячного колектора.

Експериментальна установка [9] геліостіни (рис. 1) має такі конструктивні розміри: діаметр трубок $d = 5$ мм, відстань між трубками $\ell = 50$ мм, товщина теплопоглинач над трубками $\delta = 10$ мм, об'єм $V = 15$ л. Система сонячного теплопостачання геліоогородження у формі геліостіни працює в режимі гравітації.

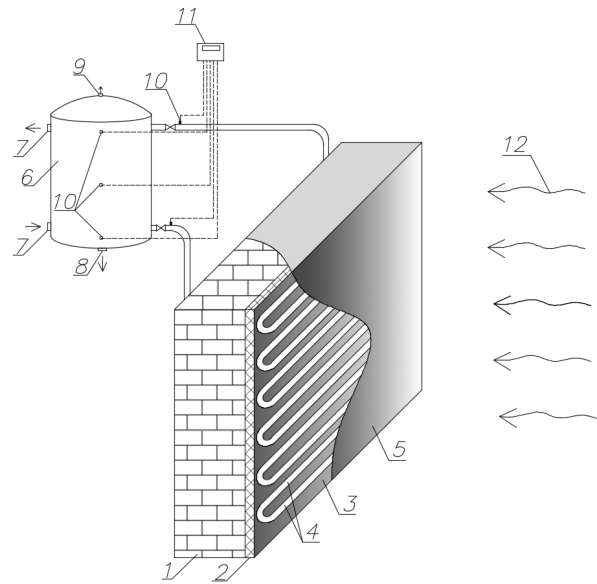


Рис. 1. Схема експериментальної установки:

- 1 – геліостіна; 2 – теплоізоляційний шар;
- 3 – тепловідбивний шар; 4 – трубки контуру циркуляції;
- 5 – тиньк; 6 – бак-акумулятор; 7 – патрубки відбору та надходження теплоносія; 8 – патрубок сливу теплоносія;
- 9 – повітровипускний клапан; 10 – термометри;
- 11 – дисплей; 12 – джерело випромінювання

Вода з бака-акумулятора 6 поступає до трубок контуру циркуляції 4, у яких нагрівається за принципом природної конвекції за допомогою випромінювання 12, та повертається до бака-акумулятора 6. Відбір теплоносія виконується патрубком 7.

Математична обробка результатів вимірювання фізичних властивостей виконується за розробленими спеціальними програмами. Інтенсивність потоку енергії, яку випромінює джерело, виміряне актинометром.

Температура теплоносія на вході й виході у сонячний колектор та в баці-акумуляторі виміряні термоперетворювачами опору 50 М, що працюють з регулятором-вимірювачем типу РТ-0102. Температура навколишнього повітря та його швидкість вимірювалася термоелектроанемометром TESTO 405- V1.

Коефіцієнт корисної дії системи сонячного теплопостачання геліостіни $\eta_{сст}$ в цілому визначено за кількістю енергії, отриманої баком-акумулятором:

$$\eta_{сст} = \frac{Q_{отп}}{Q_{пром}} \cdot 100\%, \quad (1)$$

де $Q_{отп}$ – кількість теплоти, Вт, що отримав бак-акумулятор за час Δt , с (визначалась експериментально); $Q_{пром}$ – кількість променевої теплоти, Вт, що надійшла на поверхню геліостіни за той самий проміжок часу Δt , с.

Температура теплоносія змінювалася протя-

гом експериментів залежно від факторів, що впливали на неї. Так наприклад, за інтенсивності сонячної енергії $I = 900 \text{ Вт/м}^2$ температура на виході геліостіни становила $40 \text{ }^\circ\text{C}$ та поступово збільшувалась зі стабілізацією системи (рис. 2).

Усереднена температура бака, наприклад, за інтенсивності $I = 300 \text{ Вт/м}^2$ в баку-акумуляторі досягала $13,3 \text{ }^\circ\text{C}$ (рис. 3) при 120 хвилинах опромінення. Миттєві значення питомої теплової потужності для системи сонячного теплопостачання, (рис. 4) набувають параболічної форми, що може бути пов'язано зі стабілізацією системи в часі.

Коефіцієнт корисної дії експериментальної комбінованої системи сонячного теплопостачання $\eta_{\text{СТ}}$ (рис. 5) за інтенсивності випромінювання $I = 300 \text{ Вт/м}^2$ та кута падіння сонячних променів $\beta = 30^\circ$ відносно площини геліостіни

досягав 17 % за швидкості повітряного потоку $v = 5 \text{ м/с}$ при напрямку повітряного потоку $\alpha = 70^\circ$ відносно площини колектора. За результатами експериментальних досліджень геліопокрівлі побудовано графік залежності (рис. 6) коефіцієнта ефективності геліосистеми $K_{\text{еф}}$ від азимутального кута повороту геліопокрівлі $\alpha, ^\circ$, і кута повороту геліопокрівлі $\beta, ^\circ$. Коефіцієнт $K_{\text{еф}}$ є відношенням кількості теплоти за різних конструктивних розмірів, до кількості теплоти за базових конструктивних розмірів ($d = 15 \text{ мм}$, $\ell = 150 \text{ мм}$, $\delta = 10 \text{ мм}$, об'єм $V = 15 \text{ л}$). Коефіцієнт ефективності $K_{\text{еф}}$ за інтенсивності теплового потоку $I_e = 300 \text{ Вт/м}^2$, змінюється від 0,73 до 0,47 при зміні кутів падіння від 30° до 90° . Це вказує на можливість широкого застосування експериментальної геліопокрівлі для енергоефективних будівель та її ефективної роботи впродовж дня.

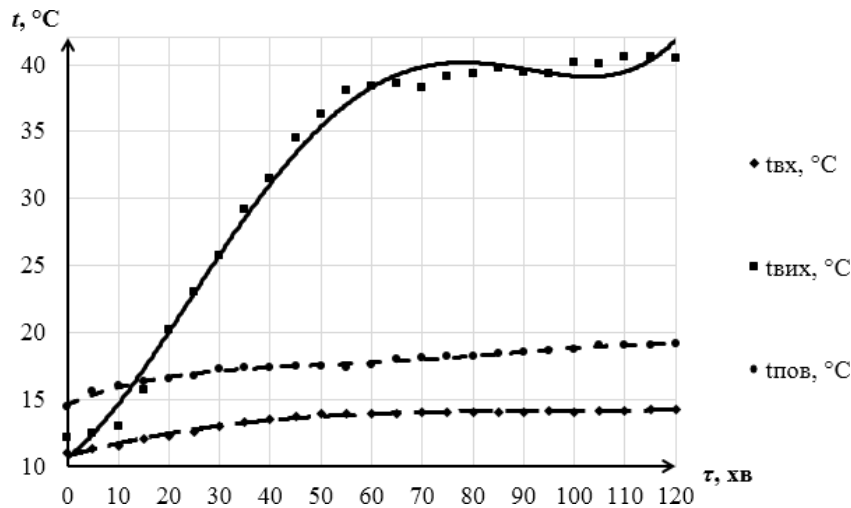


Рис. 2. Температура теплоносія в системі сонячного теплопостачання та температура навколишнього повітря впродовж експерименту в режимі гравітації при інтенсивності сонячної енергії $I = 900 \text{ Вт/м}^2$, де $t_{\text{вх}}, ^\circ\text{C}$ — температура на вході в геліостіну; $t_{\text{вих}}, ^\circ\text{C}$ — температура на виході з геліостіни; $t_{\text{пов}}, ^\circ\text{C}$ — температура оточуючого середовища

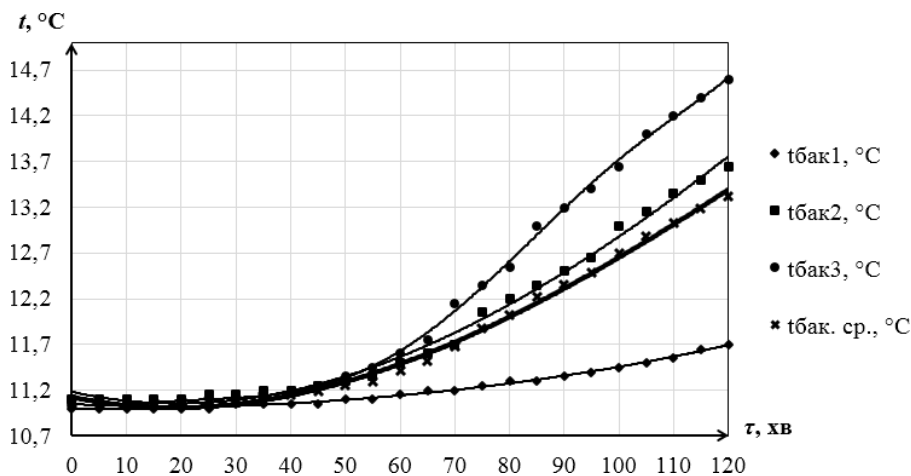


Рис. 3. Температура теплоносія в системі сонячного теплопостачання та температура навколишнього повітря впродовж експерименту в режимі гравітації при інтенсивності опромінення $I = 300 \text{ Вт/м}^2$: $t_{\text{вх}}, ^\circ\text{C}$ — температура на вході в геліостіну; $t_{\text{вих}}, ^\circ\text{C}$ — температура на виході з геліостіни; $t_{\text{пов}}, ^\circ\text{C}$ — температура навколишнього повітря

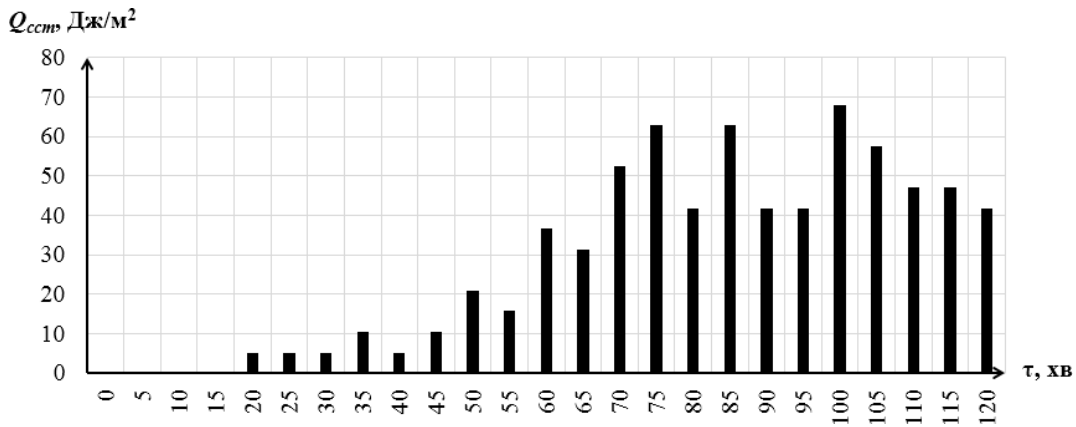


Рис. 4. Питома миттєва теплова потужність системи сонячного теплопостачання із геліостіною Q_{sct} , Дж/м² у режимі гравітації при $I = 900$ Вт/м²

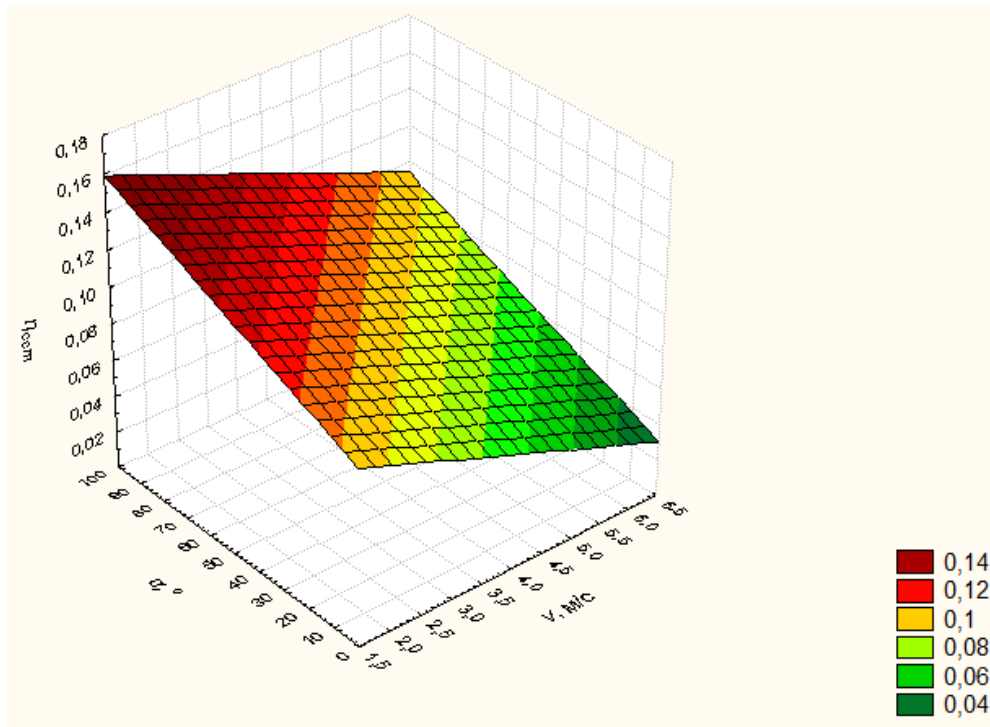


Рис. 5. Варіювання коефіцієнта корисної дії системи сонячного теплопостачання із геліостіною в цілому η_{sct} залежно від напрямку повітряного потоку α , ° та швидкості повітряного потоку v , м/с в режимі гравітації при сталих значеннях $I = 300$ Вт/м² та $b = 30^\circ$

Ефективність комбінованої експериментальної системи теплопостачання геліоогородження із геліовікном (рис. 7) у літній період за південної орієнтації має тенденцію до зростання в часі та досягає свого максимуму у вечірній час. Це пов'язано із акумуляцією теплоти площиною сонячного колектора від зовнішнього середовища, оскільки коливання температури протягом експерименту мали незначний характер.

Висновки. Запропоновані системи сонячного теплопостачання з геліоогородженнями є доступними для споживача в економічному аспекті та мають достатній коефіцієнт корисної дії для суміщеного гарячого водопостачання чи

попереднього нагріву теплоносія системи опалення. При малих кутах надходження теплового потоку, які знаходились у межах $0...90^\circ$ та низької інтенсивності випромінювання в межах $100 \dots 900$ Вт/м² коефіцієнт корисної дії досягав 70 % для геліостіни. В експериментальних дослідженнях комбінована система теплопостачання геліопокрівлі досягла ККД 70 %, як і геліостіна, у той час, як геліоогородження із геліовікном досягало ККД 75 %. Це дає змогу підтвердити можливість широкого використання сонячних колекторів, суміщених із конструкцією будівлі, у системах сонячного теплопостачання при різних кутах падіння теплового потоку.

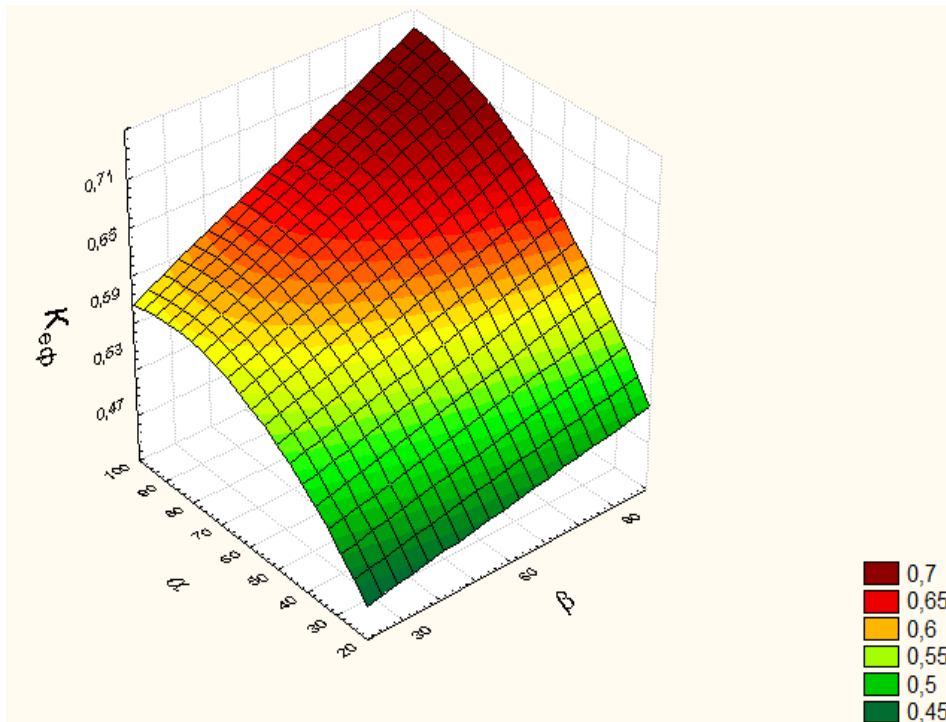


Рис. 6. Залежність коефіцієнта ефективності геліопокрівлі $K_{\text{еф}}$ від кутів падіння теплового потоку α° та β°

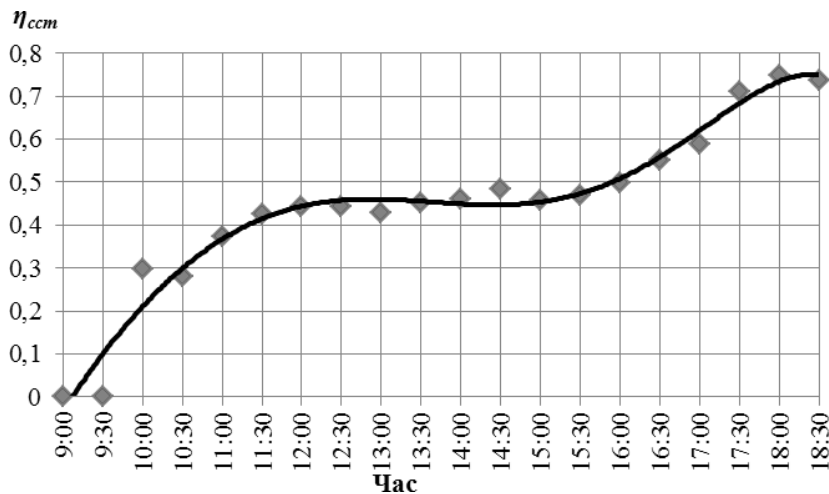


Рис. 7. Ефективність гравітаційної системи сонячного теплопостачання гелозахищення із геліовікном за умов південної орієнтації

Перспективи подальших досліджень. У подальших дослідженнях буде розроблено комплексні методології розрахунку вище описаних геліоогорожень для спрощення розрахунків в перед проектних роботах енергоефекти-

вних будівель. Крім цього, виконати обґрунтування та можливість інтеграції вище описаних геліоогорожень у вже існуючі конструкції будинків з метою збереження традиційних енергетичних ресурсів в Україні.

Література

1. Шидловський А. К. Енергетичні ресурси України: навч. посіб. / А. К. Шидловський, С. І. Випанасенко, О. Б. Іванов. – Дніпропетровськ: Національний гірничий університет, 2003. – 178 с.
2. Шведа Е. Trading wind and sun / Шведа Е. // Зелена енергетика. – 2009. – №3. – С. 5-6.
3. Renewable Energy [Електронний ресурс] // Carrington College – Режим доступу до ресурсу: <http://visual.ly/renewable-energy>.
4. Світ стоїть на порозі «ери сонячної енергетики» [Електронний ресурс] // SmartEco. – 2016. – Режим доступу до ресурсу: <https://smarteco.biz.ua>.
5. Solar cell panel and solar energy collecting device: Пат. 6513518 США. / Stéphane Girerd; Greer, Burns & Crain, Ltd. – N 09/674030; Опубл. 02.04.2003.

6. Solar energy absorbing roof : Пат. 4201193 США. /Michel Ronc; Bacon & Thomas. – N 05/887,938; Опубл. 6.05.1980.

7. Використання сонячної теплової енергії в промисловості / К.Брюнер, Ю. Бухмайер, Ю. Флюш, Б. Мюстер-Славич. – Київ: Гляйсдорф, 2015. – 80 с.

8. Желих В. М. Потенціал променистої енергії в Україні та її використання для низькотемпературних сонячних колекторів / В. М. Желих, С. П. Шаповал, І. І. Венгрин. – Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2014. – 80 с.

9. Сонячна енергетика: теорія та практика. / Й. С. Мисак, О. Т. Возняк, О. С. Дацько, С. П. Шаповал. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2014. – 340 с.

References

1. Shydlovskiy A. K., Vypanasenko S. I., Ivanov O. B. *Enerhetychni resursy Ukrainy*. Natsionalnyi hirnychy universytet, 2003.

2. Shveda E. "Trading wind and sun." *Green energy*, no. 3, 2009.

3. "Renewable Energy" [Electronic resource]. *Carrington College* – Access to resources: <http://visual.ly/renewable-energy>.

4. Svit stoit na porozі «ery soniachnoi enerhetyky» [Electronic resource] // SmartEco, 2016, <https://smarteco.biz.ua>.

5. Solar cell panel and solar energy collecting device: Pat. 6513518 USA. / Stéphane Girerd; Greer, Burns & Crain, Ltd. – N 09/674030; Pubwished 02.04.2003.

6. Solar energy absorbing roof: Pat. 4201193 США. /Michel Ronc; Bacon & Thomas. – N 05/887,938; Pubwished 6.05.1980.

7. Briuner K., Bukhmaier Yu., Fliush Yu., Miuster-Slavych B. *Vykorystannia soniachnoi teplovoi enerhii v promyslovosti*. Hliaisdorf, 2015.

8. Zhelykh V. M., Shapoval S. P., Venhryn I. I. *Potentsial promenytoyi enerhii v Ukraini ta ii vykorystannia dlia nyzkotemperaturnykh soniachnykh kolektoriv*. Lvivska politekhnika, 2014.

9. Mysak J. S., Vozniak O. T., Datsko O. S., Sapoval S. P. *Sonichna enerhetuka: teopія ta praktyka*. Lvivska politekhnika, 2014.

УДК 620.97:697.329

Технологии теплообеспечения энергоэффективных домов с использованием гелиоограждений

С. П. Шаповал¹, В. М. Желих², М. Ulewicz³, В. Б. Шепитчак⁴

¹к.т.н., доц. Национальный университет «Львовская политехника», г. Львов, Украина, shapovalstepan@gmail.com, ORCID: 0000-0003-4985-0930

²д.т.н., проф. Национальный университет «Львовская политехника», г. Львов, Украина, v_zhelykh@msn.com, ORCID: 0000-0002-5063-5077

³д.т.н., доц. Ченстоховская политехника, Ченстохова, Польша, ulewicz@bud.pcz.czest.pl, ORCID: 0000-0001-8766-8393

⁴к.т.н., ст. преп. Национальный университет «Львовская политехника», г. Львов, Украина, shepitchak@gmail.com, ORCID: 0000-0001-5883-548X

Аннотация. Актуальным вопросом на сегодня является принцип энергосбережения и рационального использования энергоресурсов. Вмешательство в глобальные процессы природы невозможно без изменений быта в обществе. В частности, необходимо совершенствование помещений в которых проживают люди, а именно строительных конструкций, фундаментов или материалов для изготовления таких конструкций. Совершенствование и разработка новых солнечных установок является важной задачей повышения энергоэффективности зданий. В статье рассмотрены вопросы гелиоограждений, таких как гелиостена, гелиоокно и гелиокровля. Приведены данные изменения температуры теплоносителя гелиостены и поступлений количества удельной мгновенной тепловой мощности во времени. Показано, что при интенсивности солнечной энергии 900 Вт/м² температура на выходе гелиостены составляла 40 °С и постепенно увеличивалась со стабилизацией системы. При этом гелиоограждения с гелиокровлей при интенсивности теплового потока $I_e = 300 \text{ Вт/м}^2$ имело варьирование коэффициента полезного действия от 0,73 до 0,47 при изменении углов падения от 30° до 90°. В работе проанализирована эффективность гелиоограждения с гелиоокном в условиях южной ориентации последнего относительно сторон горизонта. Установлено, что предложенные модели гелиоограждений являются достаточно эффективными и могут использоваться в системах солнечного теплоснабжения.

Ключевые слова: гелиоограждения, гелиостена, гелиокровля, гелиоокно.

UDC 620.97:697.329

Technologies of heat provision in energy efficient houses using solar fences

S. Shapoval¹, V. Zhelykh², M. Ulewicz³, V. Shepitchak⁴

¹Ph. D., Associate Professor. National University "Lviv Polytechnic", Lviv, Ukraine, shapovalstepan@gmail.com,

ORCID: 0000-0003-4985-0930

Sc.D., Professor. National University "Lviv Polytechnic", Lviv, Ukraine, v_zhelykh@msn.com, ORCID: 0000-0002-5063-5077

³Sc.D., Associate Professor. Czestochowa University of Technology, Czestochowa, Poland, ulewicz@bud.pcz.czyst.pl,

ORCID: 0000-0001-8766-8393

⁴Ph. D., Senior Lecturer. National University "Lviv Polytechnic", Lviv, Ukraine, shepitchak@gmail.com,

ORCID: 0000-0001-5883-548X

Abstract. A topical issue at the time, when the cost of traditional energy sources is growing, is using alternative or non-traditional energy sources, such as solar, wind, geothermal, hydropower, bioenergy etc. The most powerful source of energy for humanity is the Sun. The annual amount of solar energy is almost 15 000 times higher than the needs of the population of our planet, but only a small part of it is used for economic needs. The climate of Ukraine gives a potential opportunity of wide use of solar energy. Intervention in the global processes of nature is not possible without changes in every day life in society. In particular, the improvement of the premises, in which people live is necessary, namely their building structures, foundations and materials for the manufacture of such structures. The article deals with the issue of solar fences, such as solar wall, solar window and solar roof. In the article is described the data of changes in the temperature of the heat carrier of the solar wall, the amount of specific instantaneous thermal power in time. It was investigated that at the solar energy intensity of 900 W/m² the temperature at the outlet of the solar wall was 40 °C and gradually increased with the stabilization of the system. Whereas, solar fences with a solar roof on intensity of a heat flux $I_0 = 300 \text{ W/m}^2$ there is little variation of efficiency from 0,73 to 0,47 at change of angles of falling from 30° to 90°. The paper analyzes the efficiency of solar fencing with a solar window in the southern orientation of it. It is established that the proposed models of solar fences are quite effective and can be used in solar heat supply systems.

Keywords: solar fence, solar wall, solar roof, solar window.

Надійшла до редакції / Received 15.09.2018