

УДК 620.97:697.329

## Теплозабезпечення будівель екологічно чистими джерелами із застосуванням сонячної енергії

I. I. Венгрин<sup>1</sup>, С. П. Шаповал<sup>2</sup>, В. М. Желих<sup>3</sup>, Х. Р. Козак<sup>4</sup>, Б. І. Гулай<sup>5</sup>

<sup>1</sup> аспірант. Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів, Україна, [iryna.i.venhryn@lpnu.ua](mailto:iryna.i.venhryn@lpnu.ua),  
ORCID: 0000-0002-2317-0913

<sup>2</sup> д.т.н., професор. Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів, Україна, [stepan.p.shapoval@lpnu.ua](mailto:stepan.p.shapoval@lpnu.ua),  
ORCID: 0000-0003-4985-0930

<sup>3</sup> д.т.н., професор. Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів, Україна, [vasyl.m.zhelykh@lpnu.ua](mailto:vasyl.m.zhelykh@lpnu.ua),  
ORCID: 0000-0002-5063-5077

<sup>4</sup> к.т.н., асистент. Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів, Україна, [khrystyna.r.kozak@lpnu.ua](mailto:khrystyna.r.kozak@lpnu.ua),  
ORCID: 0000-0001-6392-0582

<sup>5</sup> к.т.н., доцент. Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів, Україна, [bogdan.i.gulai@lpnu.ua](mailto:bogdan.i.gulai@lpnu.ua),  
ORCID: 0000-0001-6951-6994

*Анотація. З урахуванням наукового та технічного прогресу, який забезпечує зниження вартості енергії, отриманої за допомогою сонячних колекторів, актуальним питанням сьогодення залишається вдосконалення конструкцій, що генерують теплову та електричну енергію. У роботі запропоновано конструктивні рішення для вдосконалення світлопрозорих фасадів будівель, які на сьогодні в архітектурно-конструктивному плані відіграють вельми важливу роль. Таким рішенням на базі використання сонячної енергії є сонячний колектор, інтегрований до світлопрозорого фасаду будівлі, що дозволить заощадити площу для його встановлення та надасть змогу генерувати споживчу енергію конструкцією будівлі. Для запропонованої конструкції гібридного теплового та фотоелектричного сонячного колектора отримано теоретичні формули для побудови і розрахунку енергетичних характеристик системи сонячного енергопостачання. Експериментальні дослідження показали ефективність гібридного сонячного колектора на рівні 37%. Цієї ефективності достатньо для широкого впровадження конструкції*

*Ключові слова: сонячна енергія, система сонячного теплопостачання, температура теплоносія, ефективність.*

**Вступ.** У Європі, відповідно до праці [1], запропоновано класифікацію будівель та споруд відповідно до їхнього щорічного енергоспоживання:

- "Старі будівлі" (споруджені до 70-х років), у яких енергоспоживання в межах 300 кВт·год/(м<sup>2</sup>·рік);
- "Нові будівлі" (споруджені від 70-х до 2000-х років), у яких енергоспоживання становить менше 150 кВт·год/(м<sup>2</sup>·рік);
- "Будівлі із низьким енергоспоживанням", у яких енергоспоживання є не більшим 60 кВт·год/(м<sup>2</sup>·рік).

У Європі заборонено спорудження будівель нижчого стандарту із 2002 року. У таких будівлях часто використовуються установки з активним чи пасивним теплопостачанням від сонячних колекторів, а також інші методи та засоби зниження витрати енергії [2]. Зареєстрованим знаком якості для нових і реконструйованих будівель низького споживання енергії є Minergie [3]. До наведеної класифікації належать також:

- "Пасивні будівлі" для яких визначається енергоспоживання в межах 15 кВт·год/(м<sup>2</sup>·рік);

- "Будівлі нульової енергії", енергоспоживання яких дорівнює кількості енергії, яка ними ж виробляється, тобто споживання енергії рівне нулю [1];
- "Будівлі плюс енергії", у яких відбувається генерування більшої кількості енергії ніж споживає сама будівлі. Такі будівлі містять додаткове устаткування, наприклад теплоутилізатори, фотоелектричні сонячні колектори, теплові сонячні колектори, теплові насоси тощо [1].

Слід зауважити, що науковий та технічний прогрес забезпечує зниження вартості енергії, отриманої за допомогою сонячних колекторів. Щорічне зростання світового обсягу продуктивності сонячної енергетики у 2020...2030 рр. становитиме 25 % [4]. Однак, варто звернути увагу, що будівлі в сучасному конструюванні мають тенденцію до збільшеної площі застосування фасадів.

Дослідженнями останніх років доведено, що реалізація потенціалу теплонадходження від сонячної радіації дозволить заощадити в умовах України понад три мільйони тон умовного палива щорічно [5].

**Актуальність дослідження.** Враховуючи, що пріоритетними в будівництві є споруди із низьким споживанням енергії та із збільшеною площею застакнення, необхідно запропонувати конструктивні рішення для вдосконалення світлопрозорих фасадів будівель. Таким рішенням на базі використання сонячної енергії є сонячний колектор, інтегрований до світлопрозорого фасаду будівлі. Це дозволить заощадити площу для його самостійного встановлення та надасть змогу генерувати споживчу енергію конструкцією будівлі.

**Останні дослідження та публікації.** Важливим моментом, що стосується сонячних колекторів для теплопостачання, є мінімальна інформація на сьогодні щодо конструктивних особливостей для забезпечення максимальної ефективності роботи системи теплопостачання на їхній основі [6]. Аспекти застосування інтегрованих сонячних теплових систем у населених пунктах розглянуто в роботі [7]. Архітектурні особливості будівель поряд з ефективністю використання сонячних теплових систем описано в праці [8]. Ці роботи наводять узагальнені дані щодо теплових характеристик систем сонячного теплопостачання.

У роботі [9] детально розглянуто спосіб інтегрування плоского сонячного колектора до покрівлі. Тому варто звернути увагу, що існують конструкції сонячних колекторів, інтегрованих або суміщених з частиною елемента даху будинку. Такий дах має покращену теплоізоляційну оболонку. Крім того він може забезпечити будинок електроенергією.

Сонячний колектор "шедове покриття" [10] містить скріплені між собою енергозбережні та оптично прозорі елементи. Також, відома сонценагрівальна установка, суміщена з покриттям будинку та виконана у гідроізоляційному бітумному шарі [11]. Геліокасад, описаний у роботі [12], призначено для встановлення на покрівлях будинку. Однак, наведені конструкції не розглядають інтегування сонячного колектора до світлопрозорого фасаду будівлі.

Для математичного аналізу та розрахунку сонячних колекторів використовують формули для визначення, наприклад, інтенсивності енергії, що надійшла на поверхню сонячного колектора, чи встановлення його генераційної потужності.

Надходження потоку прямої сонячної енергії  $I_{пр}$ , Вт/м<sup>2</sup>, на орієнтовану довільним чином поверхню доцільно розраховувати за формулою

$$I_{пр} = I_m \cos \theta, \text{ Вт/м}^2, \quad (1)$$

де  $I_m$  – інтенсивність потоку прямої сонячної енергії біля земної поверхні на перпендикулярну сонячним променям поверхню при масі атмосфери  $m$ , Вт/м<sup>2</sup>;  $\theta$  – кут між напрямком випромінювання та нормаллю до даної поверхні.

Косинус кута  $\theta$  можна знайти із співвідношення (2):

$$\begin{aligned} \cos \theta = & \\ = & \sin \delta \sin \varphi \cos \beta - \sin \delta \cos \varphi \sin \beta \cos \gamma + \\ & + \cos \delta \cos \varphi \cos \beta \cos \tau + \\ & + \cos \delta \sin \varphi \sin \beta \cos \gamma \cos \tau + \\ & + \cos \delta \sin \beta \sin \gamma \sin \tau, \end{aligned} \quad (2)$$

де  $\beta$  – кут нахилу поверхні до горизонтальної площини;  $\delta$  – схилення Сонця;  $\varphi$  – географічна широта місцевості;  $\tau$  – часовий кут Сонця в даний момент часу, що відраховується від моменту істинного полудня;  $\gamma$  – азимутальний кут площини, тобто відхилення нормалі до площини від місцевого меридіана. [13, 14]

**Формулювання цілей статті.** Підсумовуючи наведене метою дослідження є побудова математичної моделі сонячного колектора, що є частиною теплосприймального скляного огороження в системі сонячного теплопостачання.

**Основна частина.** Для визначення кількості сонячної радіації, яку може отримати поверхня вертикально розташованого сонячного колектора у Львові, зручно користуватися формулами табл.

Таблиця.

Кількість сонячної радіації, що надходить на вертикальні поверхні заданої орієнтації

Орієнтація	Кількість сонячної радіації $Q$ , Вт/м <sup>2</sup>
Північ	$-1,11 x^2 + 42,34 x - 53,72$
Північний схід	$-1,44 x^2 + 54,9 x - 75,82$
Схід	$-1,67 x^2 + 70,38 x - 93,39$
Південний схід	$-1,46 x^2 + 75,12 x - 80,16$
Південь	$-1,12 x^2 + 71,16 x - 57,34$
Південний захід	$-1,47 x^2 + 74,34 x - 75,28$
Захід	$-1,66 x^2 + 68,68 x - 87,64$
Північний захід	$-1,42 x^2 + 53,92 x - 73,77$

Примітка:  $x$  – порядковий номер місяця 1...12

Для побудови математичної моделі використовуються стаціонарні методи досліджень сонячних колекторів, що ґрунтуються на моделі Хоттеля(Hottel) - Уїллера(Whillier) - Бліса(Bliss). Розглянуто систему сонячного

енергопостачання із використанням теплового фотоелектричного гібридного сонячного колектора (ГСК) на рис. 1.

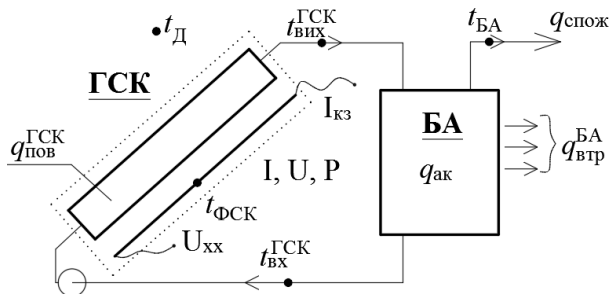


Рис. 1. Принципова схема системи теплопостачання з гібридним сонячним колектором (ГСК):  
ФСК – фотоелектрична частина ГСК;  
БА – бак-акумулятор

Для енергоефективних будівель та споруд необхідно встановити енергетичні характеристики сонячних колекторів, що можуть бути суміщені із конструкцією світлопрозорого фасаду будівлі. У зв'язку із цим слід розв'язати енергетичні рівняння для системи сонячного енергопостачання.

Загальна (повна) теплова продуктивність ГСК

$$Q_{пов}^{ГСК} = F_{ГСК} F_R (I_B - U_{пов}^{ГСК} (t_{вх}^{ГСК} - t_{зовн})), \text{ Вт}, \quad (3)$$

де  $F_{ГСК}$  – сонцесприймальна поверхня ГСК (активна поверхня),  $\text{м}^2$ ;  $F_R$  – коефіцієнт відводу теплової енергії від конструкції ГСК;  $I_B$  – інтенсивність надходження сонячної енергії,  $\text{Вт}/\text{м}^2$ ;  $U_{пов}^{ГСК}$  – повний коефіцієнт теплових втрат конструкцією ГСК,  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ ;  $t_{вх}^{ГСК}$  – температура теплоносія на вході в ГСК,  $^\circ\text{C}$ ;  $t_{зовн}$  – температура зовнішнього середовища,  $^\circ\text{C}$ .

Електричний струм, що генерується ГСК,

$$I = I_{\phi c} - I_D - I_{ш} = I_{\phi c} - I_0 \left( \exp \left( \frac{1,602 \cdot 10^{-19} (U + I R_{посл})}{1,381 \cdot 10^{-23} D (t_{кл} + 273,15) N_k} \right) - 1 \right) - \frac{U + I R_{посл}}{R_{ш}}, \text{ А}, \quad (4)$$

де  $I_{\phi c}$  – електричний струм, що виникає в фотоелементі від дії світла, А;  $I_D$  – електричний струм, що проходить через діод, А;  $I_{ш}$  – електричний струм, що проходить через шунтувальний опір, А;  $I_0$  – електричний струм зворотного насичення, А;  $U$  – напруга, В;  $R_{посл}$  – послідовний опір фотоелектричного сонячного колектора, Ом;  $R_{ш}$  – шунтувальний опір фотоелектричного сонячного колектора,

Ом;  $D$  – фактор діода,  $N_k$  – кількість послідовно розташованих комірок.

При дослідженні сонячного колектора визначалася його теплова потужність,  $\text{Вт}/\text{м}^2$ , через кожні 10 хв (рис. 2). Характер генерування є змінним, що може бути пов'язане з коливаннями температури на вході до сонячного колектора. Адже система сонячного теплопостачання із сонячним колектором, інтегрованим до системи фасаду будівлі, працювала в режимі прямотечії. Подача теплоносія здійснювалася безпосередньо з мережевого трубопроводу холодного водопостачання. Кількість миттєвої питомої теплової потужності, отриманої від сонячного колектора, відрізняється між мінімальним та максимальним значенням не більше ніж 9,6 %.

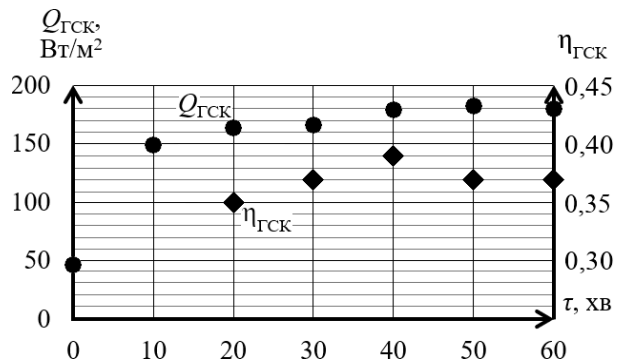


Рис. 2. Зміна впродовж експерименту питомої миттєвої потужності  $Q_{ГСК}$ ,  $\text{Вт}/\text{м}^2$ , та ефективності  $\eta$  сонячного колектора, інтегрованого до світлопрозорого фасаду будівлі

Важливим теплотехнічним параметром будь якого обладнання чи установки є теплова ефективність. За результатами досліджень конструкція за різних режимів роботи мала суттєві значення ефективності, оскільки вибрана робота режиму руху теплоносія впливає на теплотехнічні, і як наслідок, гідравлічні властивості системи в цілому

Теплова ефективність сонячного колектора після виходу системи на стабілізаційний режим не мала суттєвого коливального характеру (рис. 2). Однак варто звернути увагу, що стабілізація теплової ефективності сонячного колектора досягається на 20 хв експерименту, як і питома миттєва його потужність.

Встановлення теплової ефективності на рівні 0,37 % можна вважати ефективним для впровадження таких сонячних колекторів на практиці. Також варто звернути увагу, що використання сонячного колектора не дає викидів до атмосфери порівняно з органічним паливом. Сонячні системи, як правило, характеризуються високою собівартістю та низькими експлуатаційними витратами.

**Висновки.** Все більшої актуальності набуває вбудовування сонячних колекторів у зовнішні огороження будівлі внаслідок браку корисної площі землі. Для інженерних розрахунків стає можливим встановлення кількості надходження сонячної радіації за орієнтування фасаду, в який інтегровано сонячний колектор. Для запропонованої конструкції гібридного теплового і фотоелектричного сонячного колектора отримано теоретичні формули для побудови й розрахунку енергетичних характеристик системи сонячного енергопостачання.

При випробуваннях сонячного колектора за постачання води із мережевого трубопроводу та середньостатистичної інтенсивності імі-

тованого сонячного випромінювання  $600 \text{ Вт/м}^2$ , його ефективність досягнула 0,37. Таку конструкцію рекомендовано для широкого впровадження в енергоефективні будівлі та споруди.

**Перспективи подальших досліджень.** Перспективним напрямком досліджень є розроблення конструкції сонячного колектора, що інтегрований або суміщений із зовнішніми огороженнями, такими як стіна, дах та вікно, в одну систему сонячного теплопостачання. Крім цього, важливим напрямком досліджень є адаптація отриманих результатів дослідження в комплексні системи енергопостачання від екологічно чистих джерел енергії.

### Література

1. Даниленко О. Технології енергозберігаючого будівництва / О. Даниленко // Збірник тез доповідей Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів "Актуальні задачі сучасних технологій", м. Тернопіль 19-20 грудня 2012. – С. 73-74.
2. Hestnes A.G. Energy use in the life cycle of conventional and low-energy buildings: A review article / Hestnes A.G., Sartori I. // *Energy and Buildings*. – 2007. – Iss. 3. – P. 249–257. – <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2006.07.001>
3. Hall M. One Year Minergie-A – Switzerland's Big Step towards Net ZEB / M. Hall // *Journal of Civil Engineering and Architecture*, 2013. – Vol. 7. – No. 1. – Serial No. 62. – P. 11–19. – <https://doi.org/10.17265/1934-7359/2013.01.002>
4. Могилко О. В. Аналіз перспектив розвитку сонячної енергетики та інших альтернативних джерел енергії України / О. В. Могилко // Вісник економіки транспорту і промисловості. – 2010. – № 30. – С. 51–53.
5. Безнощенко Д. Сонячна альтернатива ТЕПС. Сонячна енергетика / Д. Безнощенко // Зелена енергетика. – 2006. – № 3. – С. 28.
6. Бабаев Б. Д. Разработка и исследование энергосистем на основе возобновляемых источников с фазопереходным аккумулярованием тепла: дис. ... докт. техн. наук: 05.14.01 / Бабаев Баба Джабраилович; Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Дагестанский государственный университет». – Махачкала, 2016. – 345 с.
7. Munari Probst M., Roecker C. Towards an improved architectural quality of building integrated solar thermal systems (BIST) / Munari Probst M., C. Roecker // *Solar Energy*. – 2007. – Vol. 81. – pp. 1104–1116. – <https://doi.org/10.1016/j.solener.2007.02.009>
8. COST Action TU1205 – Overview of BISTS state of the art, models and applications, COST Office, 2015.
9. In Roof Flat Plate Solar Collector Mounting – UK: Baxi Heating, 2007. – 20 p. – (Installation Guide).
10. Пат. 1546584 А1 СССР, Е 04 В 7/16, F 24 J 2/42. Шедовое покрытие / В.М. Гатов, К.В. Люцко, А.В. Спиридонов; ВНИИПИ Государственного комитета СССР по делам изобретений и открытий. – № 4417714/24-06; заявл. 28.04.1988; опубл. 28.02.1990, Бюл. № 8.
11. Пат. 1746155 А1 СССР, F 24 J 2/42. Солнцеприемное устройство, совмещенное с кровлей здания / С.С. Барамидзе, Г.В. Кипшидзе, З.М. Чачава, И.Ш. Багдавадзе, О.Б. Алоян; ВНИИПИ Государственного комитета СССР по делам изобретений и открытий. – № 4854481/06; заявл. 12.07.1990; опубл. 07.07.1992, Бюл. № 25.
12. Пат. 1537976 А1 СССР, F 24 J 2/22. Гелиокаскад / Н. Я. Марченко, А. И. Маршалин, П. Л. Догода; ВНИИПИ Государственного комитета СССР по делам изобретений и открытий. – № 4410427/24-06; заявл. 11.02.1988; опубл. 23.01.1990, Бюл. № 3.
13. Шаповал С. П. Комбінована система теплопостачання із потрійно-орієнтованими сонячними колекторами та термоаккумуляцією: дис. ... канд. техн. наук: 05.14.06 / Шаповал Степан Петрович; Національний університет "Львівська політехніка". – Львів, 2011. – 185 с.
14. Shapoval, S. Theoretical and experimental analysis of solar enclosure as part of energy-efficient house / Shapoval, S., Zhelykh, V., Venhryn, I., Kozak, K., Krygul, R. // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies* this link is disabled. – 2019. – Vol. 2(8-98). – pp. 38–45. – <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.160882>
15. Shapoval S. Simulation of Thermal Processes in the Solar Collector Which Is Combined with External Fence of an Energy Efficient House / S. Shapoval, V. Zhelykh, I. Venhryn, K. Kozak. // *CEE 2019: Advances in Resource-saving Technologies and Materials in Civil and Environmental Engineering*. – 2020. – С. 510–517. – [https://doi.org/10.1007/978-3-030-27011-7\\_65](https://doi.org/10.1007/978-3-030-27011-7_65)



## References

1. Danylenko O. "Tekhnolohii enerhozberihaiuchoho budivnytstva". *Zbirnyk tez dopovidei Mizhnarodnoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii molodykh uchenykh ta studentiv "Aktualni zadachi suchasnykh tekhnolohii"* m. Ternopil 19-20 hrudnia 2012. s. 73-74.
2. Hestnes A.G., Sartori I. "Energy use in the life cycle of conventional and low-energy buildings: A review article". *Energy and Buildings*, 2007. Iss. 3. P. 249–257. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2006.07.001>
3. Hall M. "One Year Minergie-A – Switzerland's Big Step towards Net ZEB". *Journal of Civil Engineering and Architecture*, 2013. Vol. 7. No. 1. Serial No. 62. P. 11–19. <https://doi.org/10.17265/1934-7359/2013.01.002>
4. Mohylko O. V. "Analiz perspektyv rozvytku soniachnoi enerhetyky ta inshykh alternatyvnykh dzherel enerhii Ukrainy". *Visnyk ekonomiky transportu i promyslovosti*. 2010. № 30. P. 51–53.
5. Beznoshchenko D. "Soniachna alternatyva TEPS. Soniachna enerhetyka". *Zelena enerhetyka*. 2006. № 3. P. 28.
6. Babaev B. D. *Razrabotka y issledovanye enerhosystem na osnove vozobnovliaemykh ustochnykov s fazo-perekhodnymy akkumulyrovanyem tepla*. Diss. Federalnoe gosudarstvennoe biudzhethnoe obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego obrazovaniia «Dagestanskii gosudarstvennyi universitet», 2016.
7. Munari Probst M., Roecker C. "Towards an improved architectural quality of building integrated solar thermal systems (BIST)". *Solar Energy*, 2007. Vol. 81. pp. 1104–1116. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2007.02.009>
8. COST Action TU1205 – Overview of BISTS state of the art, models and applications, COST Office, 2015.
9. In Roof Flat Plate Solar Collector Mounting – UK: Baxi Heating, 2007. 20 p.
10. Hatov V. M., Liutsko K.V., A.V. Spyrydonov A.V. "Shedovoe pokrytie". Patent 1537976. 28 February 1990
11. Baramydz S.S., Kypshydz H.V., Chachava Z.M., Bahdavazde Y.Sh., Aloian O.B. "Solntsepryemnoe ustroystvo, sovmeshchennoe s krovlei zdaniya" Patent 1746155, 07 July 1992.
12. Marchenko N. Ya., Marshalyn A. Y., Dohoda P. L. Patent 1537976, 23 January 1990.
13. Shapoval S.P. *Kombinovana systema teplopostachannia iz potriino-orientovanykh soniachnykh kolek-toramy ta termoakumulatsiiei*. Diss, Natsionalnyi universytet "Lvivska politekhnika", 2011.
14. Shapoval S, Zhelykh V., Venhryn I., Kozak K., Krygul R. "Theoretical and experimental analysis of solar enclosure as part of energy-efficient house". *Eastern-European Journal of Enterprise Technologiethis link is disabled*, 2019. Vol. 2(8-98). pp. 38–45. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.160882>
15. Shapoval S., Zhelykh V., I. Venhryn I., Kozak K. "Simulation of Thermal Processes in the Solar Collector Which Is Combined with External Fence of an Energy Efficient House". *CEE 2019: Advances in Resource-saving Technologies and Materials in Civil and Environmental Engineering*, 2020. P. 510–517. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-27011-7\\_65](https://doi.org/10.1007/978-3-030-27011-7_65)

УДК 620.97:697.329

## Теплообеспечение зданий экологически чистыми источниками с применением солнечной энергии

И. И. Венгрин<sup>1</sup>, С. П. Шаповал<sup>2</sup>, В. М. Желих<sup>3</sup>, Х. Р. Козак<sup>4</sup>, Б. И. Гулай<sup>5</sup>

<sup>1</sup>аспирант. Национальный университет «Львовская политехника», г. Львов, Украина, [iryua.i.venhryn@lpnu.ua](mailto:iryua.i.venhryn@lpnu.ua),  
ORCID: 0000-0002-2317-0913

<sup>2</sup>д.т.н., профессор. Национальный университет «Львовская политехника», г. Львов, Украина, [stepan.p.shapoval@lpnu.ua](mailto:stepan.p.shapoval@lpnu.ua),  
ORCID: 0000-0003-4985-0930

<sup>3</sup>д.т.н., профессор. Национальный университет «Львовская политехника», м. Львів, Україна, [vasyl.m.zhelykh@lpnu.ua](mailto:vasyl.m.zhelykh@lpnu.ua),  
ORCID: 0000-0002-5063-5077

<sup>4</sup>к.т.н., ассистент. Национальный университет «Львовская политехника», г. Львов, Украина, [khrystyna.r.kozak@lpnu.ua](mailto:khrystyna.r.kozak@lpnu.ua),  
ORCID: 0000-0001-6392-0582

<sup>5</sup>к.т.н., доцент. Национальный университет «Львовская политехника», г. Львов, Украина, [bogdan.i.gulai@lpnu.ua](mailto:bogdan.i.gulai@lpnu.ua),  
ORCID: 0000-0001-6951-6994

*Аннотация. Учитывая научный и технический прогресс, который обеспечивает снижение стоимости энергии, полученной с помощью солнечных коллекторов, актуальным вопросом сегодняшнего дня остаётся совершенствование конструкций, генерирующих тепловую и электрическую энергию. В работе предложены конструктивные решения для совершенствования светопрозрачных фасадов зданий, которые на сегодня в архитектурно-конструктивном плане играют очень важную роль. Таким решением на базе использования солнечной энергии является солнечный коллектор, интегрированный в светопрозрачный фасад здания, что позволит экономить площадь для его установки и даст возможность генерировать потребительскую энергию конструкцией здания. Для предложенной конструкции гибридного теплового и фотоэлектрического солнечного коллектора приведены теоретические формулы для построения и расчёта энергетических характеристик системы солнечного энергоснабжения.*

*Ключевые слова: солнечная энергия, система солнечного теплоснабжения, температура теплоносителя, эффективность.*

UDC 620.97:697.329

## Heat supply of buildings with environmentally friendly sources using solar energy

I. Venhryn<sup>1</sup>, S. Shapoval<sup>2</sup>, V. Zhelykh<sup>3</sup>, Kh. Kozak<sup>4</sup>, B. Gulai<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Postgraduate. National University "Lviv Polytechnic", Lviv, Ukraine, [iryna.i.venhryn@lpnu.ua](mailto:iryna.i.venhryn@lpnu.ua), ORCID: 0000-0002-2317-0913

<sup>2</sup>Sc.D., Professor. National University "Lviv Polytechnic", Lviv, Ukraine, [stepan.p.shapoval@lpnu.ua](mailto:stepan.p.shapoval@lpnu.ua),  
ORCID: 0000-0003-4985-0930

<sup>3</sup>Sc.D., Professor. National University "Lviv Polytechnic", Lviv, Ukraine, [vasyl.m.zhelykh@lpnu.ua](mailto:vasyl.m.zhelykh@lpnu.ua), ORCID: 0000-0002-5063-5077

<sup>4</sup>Ph. D., assistant. National University "Lviv Polytechnic", Lviv, Ukraine, [khrystyna.r.kozak@lpnu.ua](mailto:khrystyna.r.kozak@lpnu.ua),  
ORCID: 0000-0001-6392-0582

<sup>5</sup>Ph. D., Associate Professor. National University "Lviv Polytechnic", Lviv, Ukraine, [bogdan.i.gulai@lpnu.ua](mailto:bogdan.i.gulai@lpnu.ua),  
ORCID: 0000-0001-6951-6994

*Abstract. Taking into account the fact that the volume of traditional fuel energy is not significant and limited, it is important for the present and future generation to introduce new progressive ideas concerning alternative changes in the fuel energy complex in the prism of environmental education. The issues of energy efficiency of alternative fuels in Ukraine is more acute than in the world. The reasons for this are outdated technologies, the exhaustion of resources, the use of fixed assets for electricity and heat generation, which together with low fuel efficiency leads to significant emissions of harmful substances. The use of solar energy in Ukraine will make it less dependent on fluctuations in fuel prices. It is known that, solar installations are often characterized by complex structures or low utilization of the useful space, require complex electro mechanical systems and guidance mechanisms. Currently, there are a significant number of solar collectors, different design and technical and economic indicators. Environmental friendliness and economic benefits of these systems remain the main issue during installation. Taking into account the scientific and technological progress that reduces the cost of energy obtained with the help of solar collectors, the improvement of structures that generate thermal and electrical energy remains an urgent issue today. The paper offers design solutions for improving the translucent facades of buildings, which today play an extremely important role in architectural and structural terms. Such a solution based on the use of solar energy is a solar collector integrated into the light transparent facade of the building, which will save space for its self-installation and allow generating consumer energy by the structure of the building. Theoretical formulas for constructing and calculating the energy characteristics of a solar power supply system are elucidated for the proposed design of a hybrid thermal and photovoltaic solar collector. Experimental studies have shown the efficiency of a hybrid solar collector at 37 %. This efficiency is sufficient for widespread implementation of the design.*

*Keywords: solar energy, solar heat supply, heat carrier temperature, efficiency.*

Надійшла до редакції / Received 15.11.2021