

УДК 631.22.628.8

## Дослідження ККД сонячного опалювального приладу підвищеної ефективності для пасивного опалення

В. О. Мілейковський<sup>1</sup>, О. Ю. Шуваєва-Нечипорук<sup>2</sup>

<sup>1</sup>канд. техн. наук, доцент. Київський національний університет будівництва і архітектури, mileikovskiy@gmail.com

<sup>2</sup>аспірант, асистент. Київський національний університет будівництва і архітектури, shuvaeva\_@ukr.net

*Анотація. В умовах економічної й екологічної криз та вичерпування викопних енергетичних ресурсів виникає потреба максимального використання поновлюваних джерел енергії, серед яких сонячна. Однією з важливих характеристик пасивних сонячних опалювальних приладів, яка визначає втрати енергії будівлі під час тривалої хмарної погоди, є термічний опір таких приладів. Запропоновано пасивний сонячний опалювальний прилад підвищеного термічного опору, який складається з прозорої стінки й тепло-світлового абсорбера, повітряний простір між якими поділено похилими прозорими антиконвективними перегородками. Виконано дослідження ефективної роботи такого пасивного сонячного опалювального приладу. Результати досліджень показали вплив орієнтації на ККД пасивного сонячного опалювального приладу. Наведено значення ККД залежно від дати й часу доби та рекомендації щодо ефективної орієнтації сонячного опалювального приладу.*

*Ключові слова: пасивний сонячний опалювальний прилад, пасивне сонячне опалення, антиконвективні перегородки.*

**Постановка проблеми.** Проблема економії вичерпних енергоресурсів на сьогодні є одним із найактуальніших питань для України, як і для всього світу. Один із способів вирішення цього питання – це використання поновлюваних джерел енергії, у тому числі сонячної.

В умовах економічної та екологічної криз, а також невисоких доходів більшості населення України, висока вартість сонячних опалювальних приладів обмежує їхнє широке використання і впровадження. Також обмеженням для їхнього використання є регіони з нестабільним надходженням сонячної енергії, де кількість хмарних днів значно перевищує кількість сонячних, а також є тривалі періоди хмарної погоди. Тому одним із найактуальніших питань на сьогодні є розробка ефективних пасивних сонячних опалювальних приладів для пасивного сонячного опалення, які поєднують високу ефективність, низьку вартість та усувають недоліки відомих систем, серед яких є знижений термічний опір.

**Аналіз основних досліджень і публікацій.** Проведений аналіз найбільш поширених рішень показав наявність досить великої кількості високоефективних рішень сонячного теплопостачання, серед яких і пасивне [1-9]. Але сонячні опалювальні прилади погіршують теплозахист огорожувальних конструкцій. Під час тривалих хмарних періодів підвищення тепловтрат переважає заощадження теплоти на опалення протягом сонячних днів. Це робить подібні рішення недоцільними в регіонах, які характеризуються зазначеними погодними умовами.

**Формулювання цілей і завдання статті.** Метою даної роботи є виконання чисельних експериментів для визначення ефективності пасивних сонячних опа-

лювальних приладів з нахиленими антиконвективними перегородками, що мають підвищений термічний опір, та розробка рекомендацій щодо їхньої орієнтації за сторонами світу.

**Основна частина.** Запропоновані пасивні сонячні опалювальні прилади для пасивного опалення. Такі опалювальні прилади можуть бути використані в комбінації з системами опалення на вторинних, поновлюваних або вичерпних енергоресурсах.

Глибокий повітряний прошарок сонячного пасивного опалювального приладу (рис. 1) розділений похилими прозорими антиконвективними перегородками, що зменшують конвективну теплопередачу в середині конструкції. Для підвищення теплопродуктивності за рахунок зменшення поглинання сонячної енергії перегородки розташовуються в напрямку сонячних променів, але вниз до внутрішньої більш нагрітої поверхні (рис. 1а). Це сприяє конвекції в товщі конструкції та знижує термічний опір. Для підвищення термічного опору більш доцільно розташувати перегородки вгору до тепло-світлового абсорбера (рис. 1б).

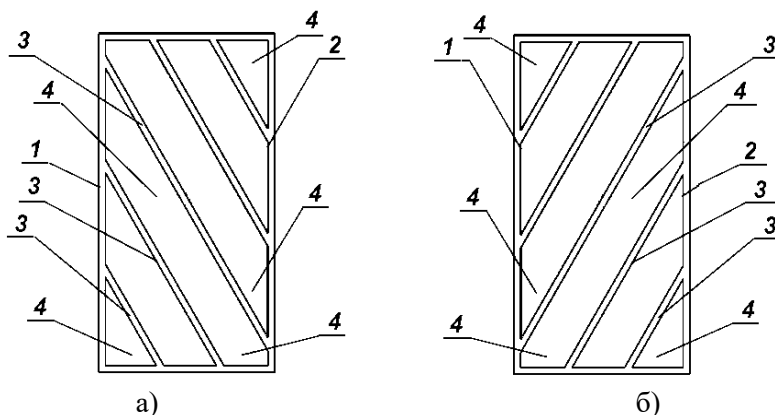


Рис.1. Пасивний сонячний опалювальний прилад:

а – меншого термічного опору, але більшої теплопродуктивності;

б – більшого термічного опору, але меншої теплопродуктивності;

1 – зовнішня стінка; 2 – тепло-світловий абсорбер; 3 – прозорі або частково прозорі перегородки;

4 – повітряні прошарки

Для оцінки термічного опору запропонованої конструкції сонячного опалювального приладу було виконано чисельні експерименти на основі моделі [10]. Матеріал антиконвективних перегородок – скло. На зовнішніх поверхнях моделі задано граничні умови другого та третього роду:

$$\alpha_{ext}(\Delta t_{(x=0)} - \Delta t_{ext}) + q_{ext} = \lambda \left. \frac{\partial t}{\partial x} \right|_{x=0}, \quad (1)$$

$$\alpha_{in}(\Delta t_{(x=\delta)} - \Delta t_{in}) + q_{in} = \lambda \left. \frac{\partial t}{\partial x} \right|_{x=\delta}, \quad (2)$$

У векторній формі рівняння Нав'є-Стокса має вигляд:

$$\frac{\partial \vec{v}}{\partial t} = -(\vec{v} \cdot \nabla) \cdot \vec{v} + \nu \Delta \vec{v} - \frac{1}{\rho} \nabla p + \vec{f}, \quad (3)$$

де:  $\nabla$  – оператор набла,  $\Delta$  – векторний оператор Лапласа,  $t$  – час,  $\nu$  – коефіцієнт кінематичної в'язкості,  $\rho$  – густина,  $p$  – тиск,  $\vec{f}$  – векторне поле масових сил;  $\vec{v} = (v^1, \dots, v^n)$  – векторне поле швидкості,  $p$  та  $\vec{v}$  є функціями часу  $t$  і координати  $x \in \Omega$ , де  $\Omega \subseteq R^n$ ,  $n = 2, 3$  - плоска або тривимірна область, у якій рухається рідина.

При розрахунку теплопередачі та профілю температури для ламінарних потоків використано диференційне рівняння енергії [12]:

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} + \vec{v} \cdot \nabla T = a \Delta T \quad (4)$$

де  $t$  – температура в точці, °С;  $a$  – коефіцієнт теплопровідності теплоносія, м<sup>2</sup>/с;  $z$  – відстань від початку каналу до поточного перерізу, м.

У програмній реалізації моделі є автоматичне визначення можливої турбулізації потоку. У цьому випадку автоматично застосовується  $k$ - $\varepsilon$  модель турбулентних течій. Для твердих елементів застосовано рівняння теплопровідності, аналогічне (4), але без другого доданка лівої частини, що характеризує конвективну складову теплопереносу.

У результаті математичного моделювання на підставі рівнянь Нав'є-Стокса і енергії для ламінарних потоків, а в разі турбулізації – автоматично за  $k$ - $\varepsilon$  моделлю, – було отримано значення опору теплопередачі 1,6 м<sup>2</sup>К/Вт на 100 мм товщини конструкції. Для пасивних систем світлопрозора конструкція завтовшки 200 мм вже має термічний опір, сумірний з опором зовнішньої стінки [11]. Зміна напрямку нахилу перегородок практично вдвічі зменшує опір теплопередачі.

Умови моделювання ККД: атмосферний тиск – 101325 Па, температура зовнішнього повітря  $T = 253,15; 263,15; 273,15; 283,15; 293,15$  К (останнє значення – без перепаду температури, для повноти інформації), ясна погода. Параметри моделі пасивного сонячного опалювального приладу: коефіцієнт тепловіддачі внутрішньої поверхні  $\alpha = 8,7$  Вт/(м<sup>2</sup>·К), температура повітря в приміщенні  $T = 293,15$  К, еквівалентна шорсткість стінки моделі 5 мкм, матеріал – скло, всі поверхні – скло – за винятком тепло-світлового абсорбера, для якого задано поверхню «абсорбер» (всі промені поглинаються повністю). Орієнтація прийнята за рис. 2.

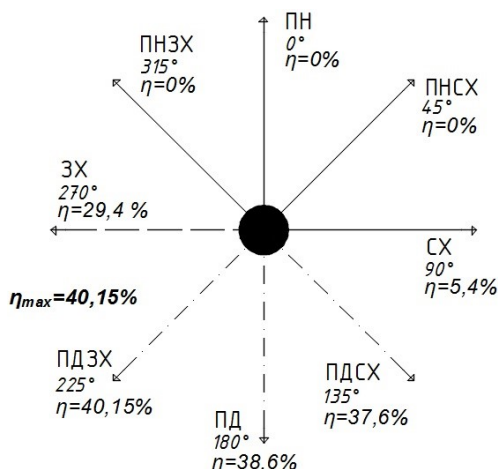


Рис.2. Прийняті орієнтації:  
суцільні лінії – неефективні напрямки;  
пунктир – малоефективний напрямок;  
штрих-пунктир – ефективні

Сонячна радіація моделюється за стоянням сонця згідно з календарем, орієнтацією моделі та часом доби. Потік сонячної радіації прийнятий 1000 Вт/м<sup>2</sup>. Сонячна радіація моделюється для періоду з жовтня по березень, з 10 до 16 години включно.

У результаті отримано (рис. 3-8) достатнє значення ККД пасивних сонячних опалювальних приладів підвищеного термічного опору з нахиленими антиконвективними перегородками - 30-40%.

З рис. 3 - 8 вибрані ефективні напрямки розміщення пасивних сонячних опалювальних приладів (рис. 2).

**Висновки.** Запропоновані сонячні опалювальні прилади з антиконвективними перегородками мають достатній опір теплопередачі – 1,6 м<sup>2</sup>К/Вт на 100 мм товщини конструкції. Максимальне значення ККД запропонованих пасивних сонячних опалювальних приладів з антиконвективними перегородками – 37,6...40,15 % – відповідає рекомендованій орієнтації – південний схід, південь і південний захід. Західна орієнтація малоефективна і дає відчутну теплову енергію лише у вечірній час. Орієнтація на північ, північний захід і північний схід не ефективна.

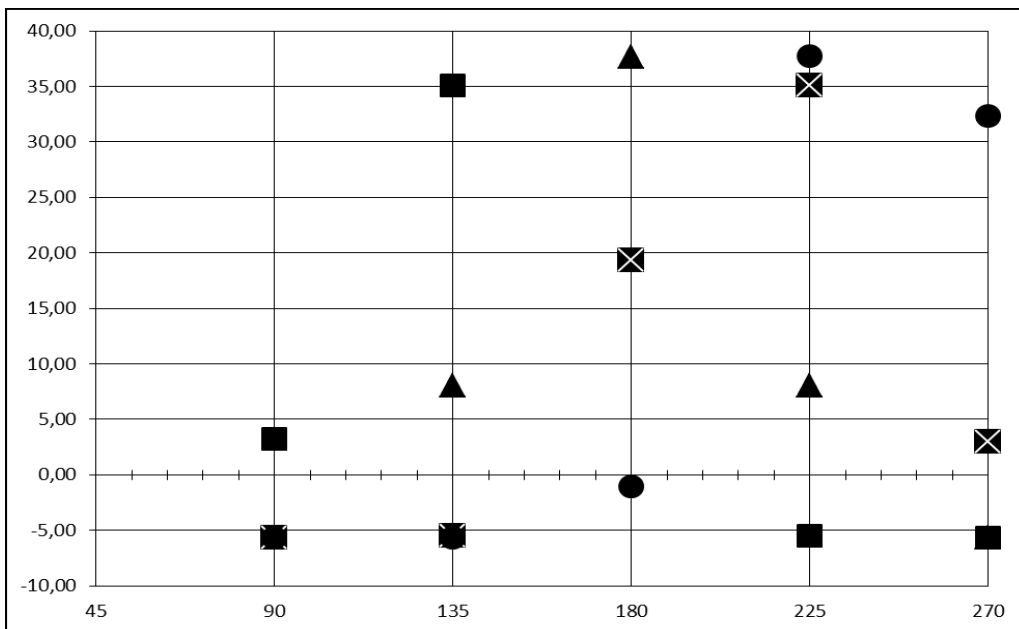


Рис.3. Жовтень, температура зовнішнього повітря -20 °С.  
 Квадрат - 10 годин, трикутник 12 годин, хрестик на фоні чорного квадрату - 14 годин,  
 коло – 16 годин.

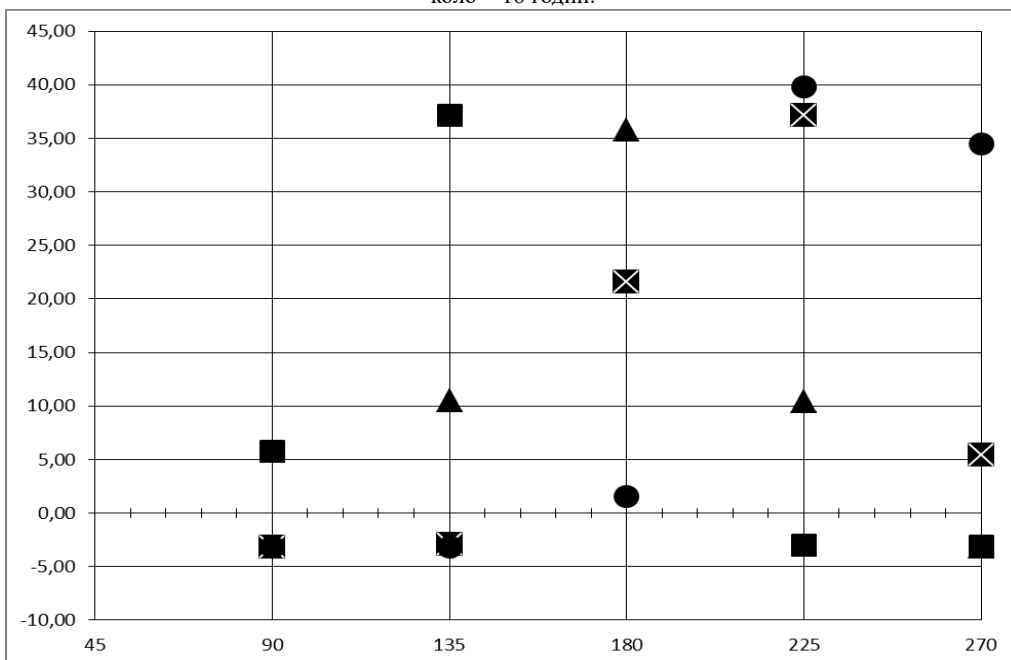


Рис.4. Жовтень, температура зовнішнього повітря 0 °С.  
 Позначення див. рис. 3

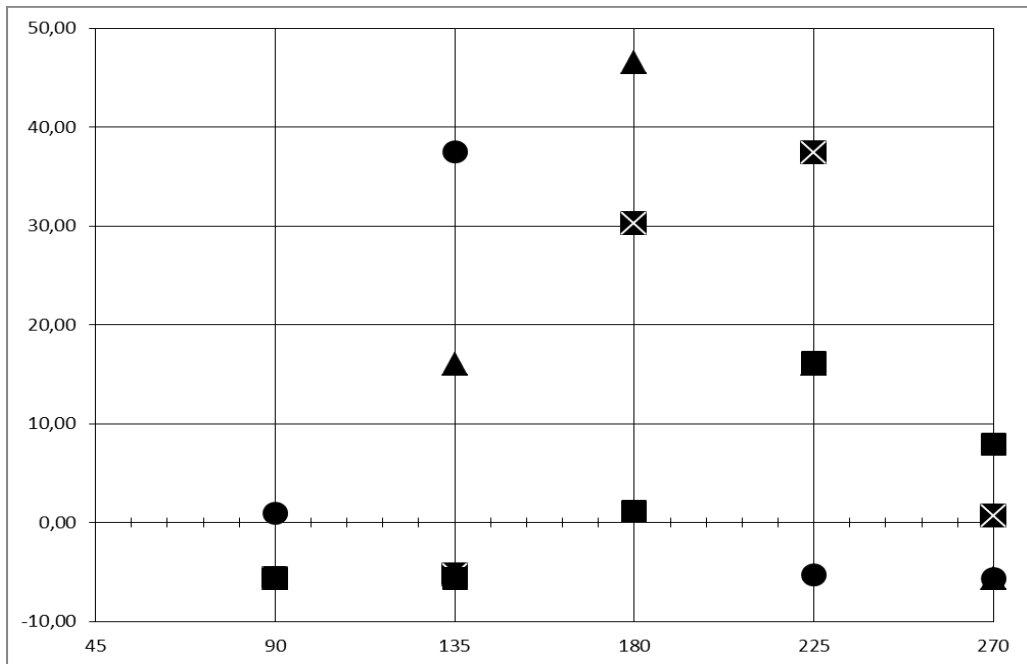


Рис.5. Грудень, температура зовнішнього повітря -20 °С.  
Позначення див. рис. 3

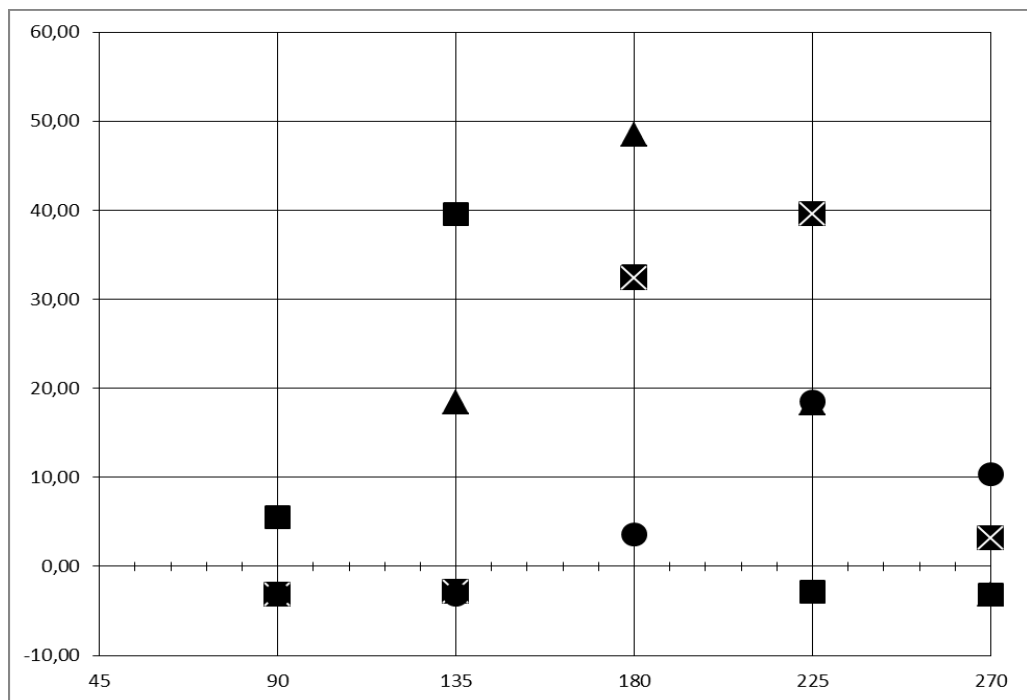


Рис.6. Грудень, температура зовнішнього повітря 0 °С.  
Позначення див. рис. 3

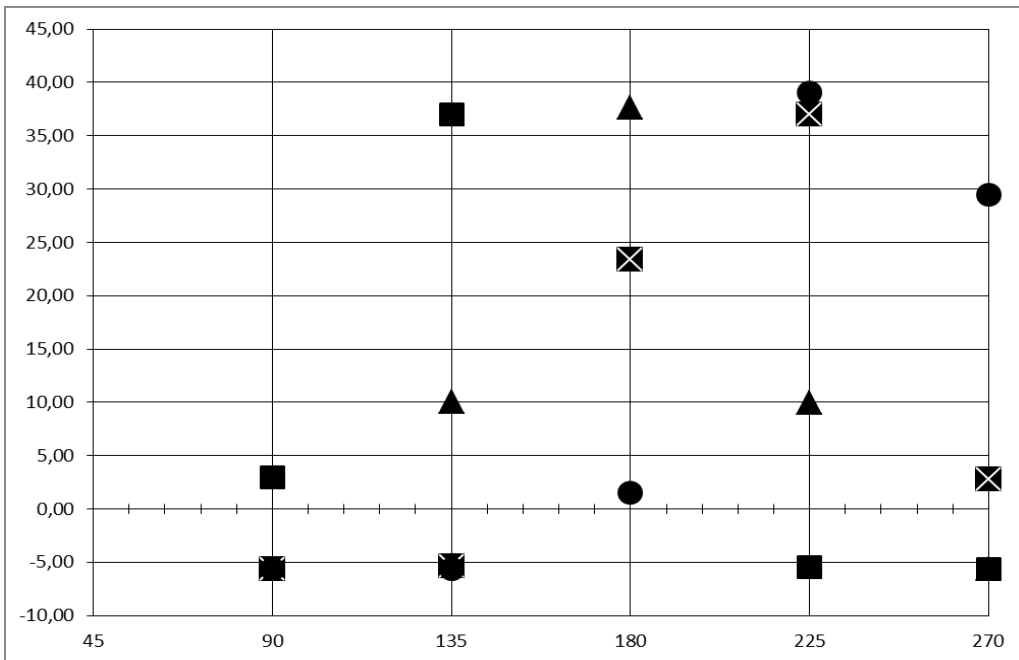


Рис.7. Березень, температура зовнішнього повітря -20 °С.  
Позначення див. рис. 3

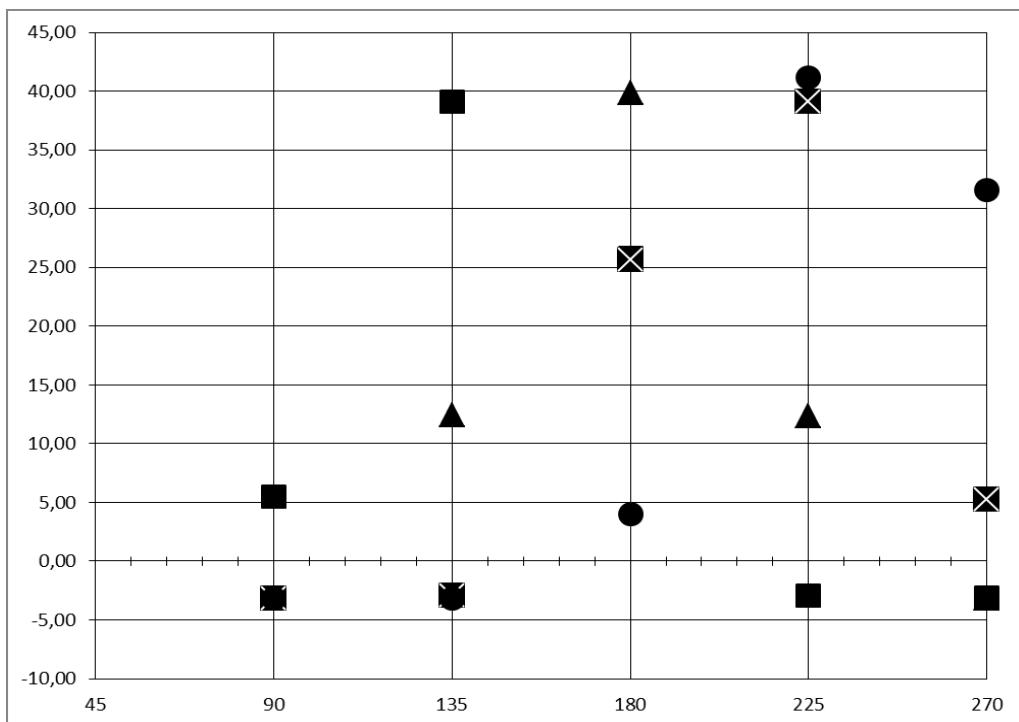


Рис.8. Березень, температура зовнішнього повітря 0 °С.  
Позначення див. рис. 3

## Література

1. Афанасьева О. К. Архитектура малоэтажных жилых домов с возобновляемыми источниками энергии: автореф. дис. ... канд. архитектуры: 18.00.02 / О. К. Афанасьева. – Министерство образования и науки Российской Федерации, Московский архитектурный институт. – Москва, 2009. – 20 с.
2. Основы современной малой энергетики: учебное пособие в 3 т. / Э. П. Гужулев, В. В. Шалай, А. Н. Лямин, А. Б. Калистратов. – Омск: Издательство ОмГТУ, 2006. – Т.3. – 528 с.
3. Габриель И. Реконструкция зданий по стандартам энергоэффективного дома / И. Габриель, Х. Ладенер. – Санкт-Петербург : БХВ-Петербург, 2011. – 480 с.
4. Виссарионов В. И. Солнечная энергетика / В. И. Виссарионов, Г. В. Дерюгина. – Москва, Издательский дом МЭИ, 2008. – 276 с.
5. Blight T. S. Sensitivity analysis of the effect of occupant behaviour on the energy consumption of passive house dwellings / T. S. Blight, D. A. Coley // *Energy and Buildings*. – 2013. – №66. – pp. 183-192.
6. Rosenthal E. Houses With No Furnace but Plenty of Heat / E. Rosenthal // *The New York Times*. – December 26, 2008; Retrieved 2008-12-27.
7. Пат. 100523 Україна МПК<sup>2006.01</sup> F 24 J 2/04, F 04 B 23/00. Сонячний колектор (Варіанти) / О. П. Любарець, В. О. Мілейковський, О. Ю. Шуваєва. – № a201002722 ; заявл. 11.03.2010 ; опублік. 10.01.2013 бюл. №1. – 2 с.
8. Пат. 98800 Україна МПК<sup>2006.01</sup> F 24 J 2/24. Сонячний колектор. / О. П. Любарець, В. О. Мілейковський, О. Ю. Шуваєва. – № a201002724 ; заявл. 11.03.2010 ; опублік. 25.06.2012 бюл. №12. – 2 с.
9. ГОСТ 26602.1-99. Межгосударственный стандарт. Блоки оконные и дверные. Методы определения сопротивления теплопередаче. – Введ. 01.01.2000. – Москва: Госстрой России, ГУП ЦПП, 2000. – 29 с.
10. Мілейковський В. О. Пасивні сонячні системи опалення для умов тривалої хмарної погоди / В. О. Мілейковський, О. Ю. Шуваєва // *Енергоефективність в будівництві та архітектурі : наук.-техн. зб. / Київський національний університет будівництва і архітектури*. – 2013. – Вип. 4. – с. 190-194.
11. Мілейковський В. О. Дослідження сонячного опалювального приладу для пасивних систем використання сонячної енергії / В. О. Мілейковський, О. Ю. Шуваєва // *Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання : наук.-техн. зб. / Київський національний університет будівництва і архітектури*. – 2016. – Вип. 19. – с. 112-116.
12. Кезля Е. А. Воздухонагреватель из полимерной плёнки для систем воздушного отопления теплиц: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.03 / Кезля Е.А. : Министерство образования и науки Украины, Киевский инженерно-строительный институт - Київ, 1988. – 20 с.

## References

1. Afanaseva O. K. *Arkhitektura maloetazhnykh zhilykh domov s vozobnovliaemyimi istochnikami enerhii*. Diss. Abstract. Moskovskii arkhytekturnyi institut, 2009.
2. Huzhulev E. P., V. V. Shalai, Liamin A. N., Kalistratov A. B. *Osnovy sovremennoi maloi enerhetiki*. Vol. 3, Izdatelstvo OmGTU, 2006.
3. Habryel Y., Ladener Kh. *Rekonstruktsiya zdanyi po standartam enerhoeffektivnogo doma*. BKhV-Peterburh, 2011.



4. Vyssaryonov V. Y., Deriugina G. V. *Solnechnaia enerhetika*. Izdatelskiy dom MEI, 2008.

5. Blight T. S. Sensitivity analysis of the effect of occupant behaviour on the energy consumption of passive house dwellings / T. S. Blight, D. A. Coley // *Energy and Buildings*. – 2013. – №66. – pp. 183-192.

6. Rosenthal E. “Houses With No Furnace but Plenty of Heat.” *The New York Times*. – December 26, 2008.

7. Liubarets O. P., Mileikovskiy V. O., Shuvaieva O. Iu. “Soniachnyi kolektor (Varianty).” Patent of Ukraine 100523. 10 January 2013.

8. Liubarets O. P., Mileikovskiy V. O., Shuvaieva O. Iu. “Soniachnyi kolektor.” Patent of Ukraine 98800. 25 June 2012.

9. *Mezhhosudarstvennyy standart. Bloki okonnye i dvernye. Metody opredeleniia soprotivleniia teploperedache*. HOST 26602.1-99. Gosstroj Rossii, GUP TsPP, 2000.

10. Mileikovskiy V. O., Shuvaieva O. Iu. “Pasyvni soniachni systemy opalennia dlia umov tryvaloi khmarnoi pohody.” *Enerhoefektyvnist v budivnytstvi ta arkhitekturi* : Naukovo-tekhnichnyi zbirnyk, Iss. 4, Kyiv National University of Construction and Architecture, 2013, pp. 190-194.

11. Mileikovskiy V. O., Shuvaieva O. Iu. “Doslidzhennia soniachnoho opaliuvalnogo prykladu dlia pasyvnykh system vykorystannia soniachnoi enerhii.” *Ventyliatsiia, osvittleniia ta teplohapostachannia* : Naukovo-tekhnichnyi zbirnyk, Iss. 19, Kyiv National University of Construction and Architecture, 2016, pp. 112-116.

12. Kezlia E. A. *Vozdukhonahrevatel yz polymernoii plėnky dlia system vozdushnoho otopeniia teplyts*. Diss. abstract. Kyiv National University of Construction and Architecture, 1988.

## УДК 631.22.628.8

### Исследования КПД солнечного отопительного прибора повышенной эффективности для пассивного отопления

В. А. Милейковский<sup>1</sup>, О. Ю. Шуваева-Нечипорук<sup>2</sup>

<sup>1</sup>канд. техн. наук, доцент. Киевский национальный университет строительства и архитектуры, mileikovskiy@gmail.com

<sup>2</sup>аспирант, ассистент. Киевский национальный университет строительства и архитектуры, shuvaeva\_@ukr.net

*Аннотация. В условиях экономического и экологического кризисов и истощения ископаемых энергетических ресурсов возникает необходимость максимального использования возобновляемых источников энергии, среди которых солнечная. Одной из важных характеристик пассивных солнечных отопительных приборов, которая определяет потери энергии здания во время длительной облачной погоды, является термическое сопротивление таких приборов. Предложен пассивный солнечный отопительный прибор повышенной термического сопротивления, состоящий из прозрачной стенки и тепло-светового абсорбера, воздушное пространство между которыми разделено наклонными прозрачными антиконвективными перегородками. Выполнены исследования эффективной работы такого пассивного солнечного отопительного прибора. Результаты исследований показали влияние ориентации на КПД пассивного солнечного отопительного прибора. Приведены значения КПД в зависимости от даты и времени суток и рекомендации по эффективной ориентации солнечного отопительного прибора.*

*Ключевые слова: пассивный солнечный отопительный прибор, пассивное солнечное отопление, антиконвективные перегородки.*

**UDC 631.22.628.8**

## **Researches of Efficiency of Solar Heater Increased Efficiency for Passive Heating**

V. Mileikovskiy<sup>1</sup>, O. Shuvaeva-Nechiporuk<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Ph.D, Associate Professor, Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, v\_mil@ukr.net

<sup>2</sup> Post-graduate student, Assistant Professor, Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, shuvaeva\_@ukr.net

*Abstract. Because of economic and environmental crises and the depletion of fossil energy resources, there is a need of maximization the use of renewable energy sources, including solar energy. One of the important characteristics of passive solar heating devices, which determines the energy loss of a building during prolonged cloudy weather, is the thermal resistance of such devices. A passive solar heating device of increased thermal resistance is proposed, consisting of a transparent wall and a heat-light absorber; the air space between which is divided by inclined transparent anticovection partitions. The efficiency of such passive solar heating device has been studied. The results of the studies showed the effect of the orientation on the efficiency of a passive solar heating device. The values of the efficiency are given depending on the date and time of the day and the recommendations for the effective orientation of the solar heater are offered.*

*Keywords: passive solar heater, passive solar heating, anti-convection partitions.*

*Надійшла до редакції 7 травня 2017 р.*