

Описано ефективність поєднання покрівельного матеріалу будівлі та сонячного колектора. Встановлено залежність між кутами встановлення комбінованого сонячного колектора відносно надходження теплового потоку та його ефективністю. Встановлено залежності між різними швидкостями, напрямками повітряного потоку та ефективністю сонячного колектора. Показано на скільки зменшується ефективність комбінованого сонячного колектора при дії на неї вітру

Ключові слова: сонячний колектор, тепловий потік, сонячне випромінювання, повітряний потік

Описана ефективність сочетания кровельного материала здания и солнечного коллектора. Установлена зависимость между углами установки комбинированного солнечного коллектора относительно поступления теплового потока и его эффективностью. Установлены зависимости между различными скоростями, направлениями воздушного потока и эффективностью солнечного коллектора. Показано на сколько уменьшается эффективность комбинированного солнечного коллектора при воздействии на него ветра

Ключевые слова: солнечный коллектор, тепловой поток, солнечное излучение, воздушный поток

ПОРІВНЯННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ КОМБІНОВАНОГО СОНЯЧНОГО КОЛЕКТОРА ЗА РІЗНИХ РЕЖИМІВ ЙОГО ЕКСПЛУАТАЦІЇ

О. М. Пона

Аспірант*

E-mail: ostap.pona@gmail.com

Б. І. Гулай

Кандидат технічних наук, асистент*

E-mail: 08bogdan1986@ukr.net

*Кафедра теплогазопостачання і вентиляції

Національний університет

«Львівська політехніка»

вул. Ст. Бандери, 12, м. Львів, Україна, 79013

1. Вступ

На сьогоднішній день існує велика кількість джерел енергії, частина з яких освоєні і ефективно використовуються, інші тільки досліджуються і впроваджуються в нашу енергетику. Інтенсивне використання традиційних джерел енергії призвело до появи ряду екологічних проблем, найбільш гострими з яких є: збільшення викидів в атмосферу вуглекислого газу і зменшення товщини озонового шару [1–3]. За останні 100 років концентрація вуглекислого газу в атмосфері Землі збільшилась на 13%. Тому необхідно приділити особливу увагу пошуку таких джерел тепла, ресурс яких був би невичерпний і легко доступний.

Одним з найбільш перспективних джерел тепла є Сонце, що зумовлено рядом факторів: сонячна енергетика доступна в кожній точці нашої Планети, яка відрізняється за густиною потоку сонячного випромінювання не більше, ніж в два рази; також вона є екологічно чистим та невичерпним джерелом теплоти без негативного впливу на навколишнє середовище [4]. Як відомо потенціальні можливості сонячної енергетики є надзвичайно великими. Використання близько 2% кількості енергії Сонця могло б забезпечити всі сьогоднішні потреби світової енергетики.

2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Клімат України дає нам потенційні можливості використання сонячної енергії: річний потік сонячного випромінювання складає 1080–1380 кВт год/м² [5].

В зв'язку з цим виникає необхідність ефективного використання сонячної енергії. На сьогоднішній день існує велика кількість конструкцій сонячних колекторів, основними недоліками яких є: складність конструкції, велика залежність тепла, що виробляється від періоду доби, висока вартість [6].

Системи сонячного теплопостачання із звичайними сонячними колекторами є достатньо дорогими [7–9]. Також істотною вадою цих колекторів є висока трудомісткість виготовлення і недостатня ефективність перетворення сонячної енергії в теплову внаслідок втрат тепла. Крім того плоска поверхня прямокутної форми великого розміру призводить до труднощів архітектурної та технологічної прив'язки необхідної кількості сонячних колекторів на спорудах [10]. А також вони створюють додаткове масове навантаження на конструкції споруд, на яких розміщено сонячний колектор [11].

На сьогоднішній день широко використовуються настінні сонячні колектори, які одночасно виконують функцію огорожувальних конструкцій [12]. Відомий

геліопротил [13], який являє собою видовжений алюмінієвий протил, який має теплосприймаючу поверхню, канали для рідкого та повітряного теплоносія (в останньому може розміщуватись теплоакуюча рідина) і ребра закріплення з сусідніми елементами. Монтаж геліопротил ведуть безпосередньо на каркас споруди. Однак геліопротил має низьку інтенсивність теплообміну між теплоносієм та теплопоглинальною панеллю внаслідок невеликої площі контакту.

Одним із шляхів вирішення цієї проблеми є поєднання сонячного колектора та гофрованого покрівельного матеріалу будівлі. Це дозволяє підвищити ефективність сонячного колектора та знизити його вартість.

3. Мета та задачі дослідження

На енергетичну ефективність комбінованого сонячного колектора впливає багато факторів: затінення, хмарність, вплив повітряного потоку. Тому для її підвищення важливим є дослідження всіх факторів які впливають на неї.

Метою роботи є визначення ефективності комбінованого сонячного колектора без прозорого покриття та вивчення впливу повітряного потоку на його роботу та порівняння отриманих результатів для визначення оптимальних характеристик комбінованого сонячного колектора.

Для досягнення поставленої мети були поставлені такі завдання:

- експериментально дослідити ефективність комбінованого сонячного колектора з прозорим покриттям;
- експериментально визначити вплив повітряного потоку на ефективність комбінованого сонячного колектора.

4. Матеріали та методи досліджень комбінованого сонячного колектора в лабораторних умовах

В основу комбінованого сонячного колектора поставлено завдання удосконалити плоский сонячний колектор. Це здійснюється завдяки тому, що теплопоглинаючий матеріал комбінованого сонячного колектора є одночасно покрівельним матеріалом будівлі, що дозволяє знизити вартість, підвищити міцність та спростити конструкцію сонячного колектора. Комбінований сонячний колектор дозволяє ефективно використовувати тепло покрівельного матеріалу.

Для підвищення ефективності комбінованого сонячного колектора було запропоновано розташувати трубки контуру циркуляції над гофрованим теплопоглиначем. Це дозволяє збільшити площу поглинання сонячної енергії, що відповідно підвищує ефективність сонячного колектора.

Експериментальна установка складалась із комбінованого сонячного колектора, бака-акумулятора, джерела випромінювання та вимірювальних приладів. Розріз комбінованого сонячного колектора та схема експериментальної установки зображено на рис. 1.

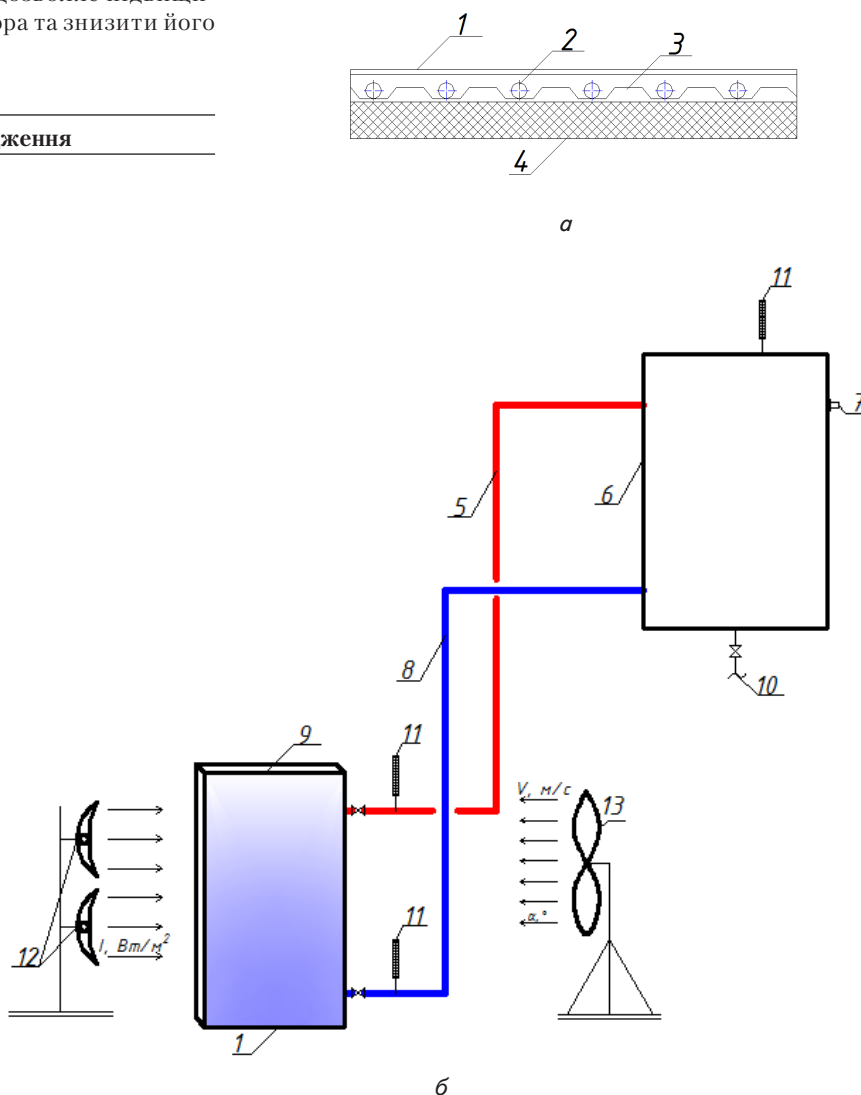


Рис. 1. Схема експериментальної установки: а – схема комбінованого сонячного колектора; б – схема експериментальної установки; 1 – прозоре покриття; 2 – трубки контуру циркуляції; 3 – теплопоглинач; 4 – теплоізоляція; 5 – подаючий трубопровід; 6 – бак-акумулятор гарячої води; 7 – патрубок для подачі води споживачу; 8 – зворотній трубопровід; 9 – комбінований сонячний колектор; 10 – патрубок для спуску води; 11 – термометри; 12 – джерело випромінювання; 13 – вентилятор

Верхнє гофроване покриття кріпиться до крокв, наприклад, за допомогою кронштейнів. Сонячне проміння попадає на поглинач сонячної енергії 1 та трубки для теплоносія 2. При цьому відбувається їх нагрівання. За рахунок різниці температур, та відповідно

різниці густин теплоносія в зоні вхідного і вихідного патрубків створюється циркуляція теплоносія. Нагрітий теплоносій через подаючий трубопровід 5 подається у бак-акумулятор гарячої води 6. Нагріта вода через патрубок 7 подається споживачу. Охолоджений теплоносій по зворотньому трубопроводу 8 повертається у комбінований сонячний колектор 9, і нагрівається. Спуск води з бака-акумулятора відбувається через патрубок 10. Випуск повітря – через повітровипускний клапан. Теплоізоляційний шар 4 забезпечує зменшення тепловтрат.

Розміщення шару променевідбиваючого матеріалу під теплополичаєм дає можливість збільшити ефективність використання сонячного випромінювання, частина якого пройшла повз нього. Шар променевідбиваючого матеріалу відбиває сонячне випромінювання назад на поглинач сонячної енергії, в результаті чого теплополичаєм поглинається практично все сонячне випромінювання яке потрапляє на комбінований сонячний колектор. Для зменшення тепловтрат системи всі трубопроводи та бак-акумулятор були утеплені.

Впродовж експерименту вимірювалась температура теплоносія у трьох точках системи (на виході з комбінованого сонячного колектора, на вході в комбінований сонячний колектор та в баці-акумуляторі) термометрами. Інтенсивність потоку енергії, що випромінювало джерело, вимірювалась актинометром.

Була складена матриця планування трифакторного експерименту із врахуванням взаємодії факторів. Факторами були обрані:

- азимутальний кут повороту комбінованого сонячного колектора, α° , [30; 90];
- кут нахилу комбінованого сонячного колектора, β° , [30; 90];
- інтенсивність теплового потоку, I , Вт/м² [300; 900].

5. Результати досліджень ефективності комбінованого сонячного колектора з прозорим покриттям

Результати експериментальних досліджень подано у табл. 1.

Таблиця 1

Кількість тепла, що отримала геліосистема при зміні кутів падіння теплового потоку α і β та інтенсивності теплового потоку I

Кути падіння теплового потоку α і β , °	Кількість тепла, що акумулювалась в баку-акумуляторі, $Q_{бак}$, кДж	
	при $I=300$ Вт/м ²	при $I=900$ Вт/м ²
$\alpha=30^\circ; \beta=30^\circ$	334,9	418,7
$\alpha=90^\circ; \beta=30^\circ$	376,8	586,2
$\alpha=30^\circ; \beta=90^\circ$	418,7	628,1
$\alpha=90^\circ; \beta=90^\circ$	502,4	711,8

Параметром оптимізації вибрано коефіцієнт ефективності комбінованого сонячного колектора $K_{эф}$, як впливає зміна кута падіння променів на ефективність сонячного колектора.

Коефіцієнт ефективності комбінованого сонячного колектора $K_{эф}$ визначається за формулою:

$$K_{эф} = \frac{y_i}{y_{ст}}, \tag{1}$$

де $y_{ст}$ – теплова енергія отримана геліосистемою при кутах падіння променів – $\alpha=90^\circ$ і $\beta=90^\circ$ та інтенсивності теплового потоку $I_b=900$ Вт/м²; y_i – отримана теплова енергія геліосистемою за інших кутів падіння променів.

Результати експериментальних досліджень подано у графічній формі (рис. 2).

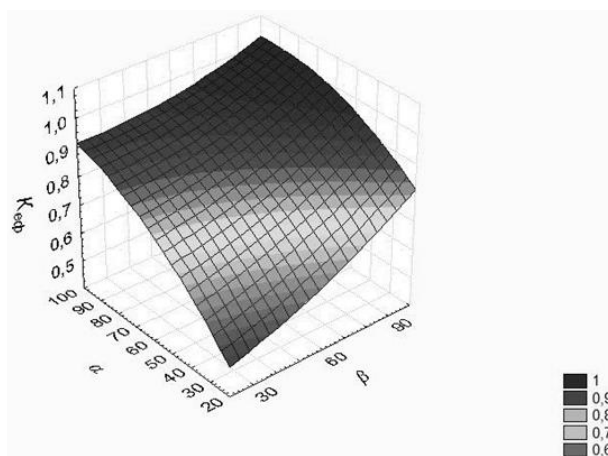


Рис. 2. Залежність коефіцієнта ефективності комбінованого сонячного колектора з прозорим покриттям $K_{эф}$ у гравітаційній системі тепlopостачання від кутів падіння теплового потоку α і β при інтенсивності теплового потоку $I=900$ Вт/м²

Проаналізувавши результати експериментальних досліджень бачимо, що ефективність комбінованого сонячного колектора без прозорого покриття за зміни кутів падіння теплового потоку α і β від 90° до 30° зменшується на 40 %, тоді як ефективність звичайного сонячного колектора зменшується на 60 %, що говорить про незначне падіння ефективності системи сонячного тепlopостачання з використанням комбінованого сонячного колектора.

6. Дослідження впливу повітряного потоку на ефективність комбінованого сонячного колектора

Важливим є вивчення роботи комбінованого сонячного колектора при впливі на неї різних факторів. Тому запропоновано дослідити як змінюється ефективність комбінованого сонячного колектора при наявності прозорого покриття та впливі на нього повітряного потоку.

Для визначення впливу повітряного потоку на ефективність сонячного колектора факторами було обрано:

- x_1 – швидкість повітряного потоку V , м/с [2; 6];
- x_2 – напрям повітряного потоку $\pm\alpha$, ° [0; 90], рис. 3;
- x_3 – інтенсивність теплового потоку I , Вт/м² [300; 900];

Швидкість повітряного потоку змінювалась від 2 до 6 м/с, що відповідає нормативним значенням середньої швидкості вітру в Україні.

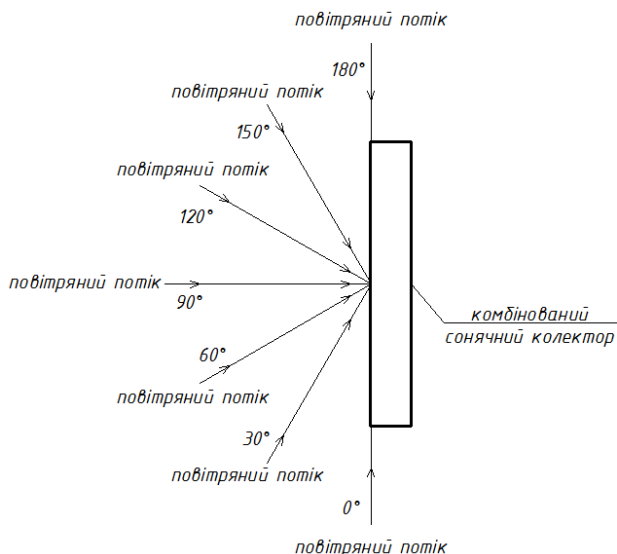


Рис. 3. Зміна напрямку повітряного потоку $\pm\alpha^\circ$

Параметром оптимізації було вибрано K_{ef} – відношення кількості тепла, що отримав комбінований сонячний колектор при різних швидкостях та напрямку повітряного потоку та інтенсивності теплового потоку до кількості тепла, що отримав сонячний колектор при найменшому впливі вітру.

Для максимального виявлення впливу факторів на функцію відгуку складено матриця планування із врахуванням ефекту взаємодії факторів, табл. 2.

Таблиця 2

Матриця планування експерименту

№	x_0	x_1	x_2	x_3	x_1x_2	x_1x_3	x_2x_3	$x_1x_2x_3$	K_{ef}
1	+	-	-	-	+	+	+	-	0,72
2	+	+	-	-	-	-	+	+	0,61
3	+	-	+	-	-	+	-	+	0,67
4	+	+	+	-	+	-	-	-	0,44
5	+	-	-	+	+	-	-	+	1,00
6	+	+	-	+	-	+	-	-	0,78
7	+	-	+	+	-	-	+	-	0,83
8	+	+	+	+	+	+	+	+	0,56

У результаті опрацювання експериментальних даних було отримано рівняння регресії:

$$K_{ef} = 0,701 - 0,104 \cdot x_1 - 0,076 \cdot x_2 + 0,091 \cdot x_3 - 0,021 \cdot x_1x_2 - 0,019 \cdot x_1x_3 - 0,021 \cdot x_2x_3. \quad (4)$$

Проаналізувавши коефіцієнти рівняння регресії можна зробити висновок, що найбільший вплив на ефективність комбінованого сонячного колектора без прозорого покриття у гравітаційній системі теплопостачання має швидкість повітряного потоку, а напрямки повітряного потоку та інтенсивність теплового потоку впливають менше. Також можна стверджувати,

що при чисельному збільшенні факторів, енергетична ефективність комбінованого сонячного колектора з прозорим покриттям буде зменшуватись.

Результати експериментальних досліджень подано у графічній формі (рис. 4, 5).

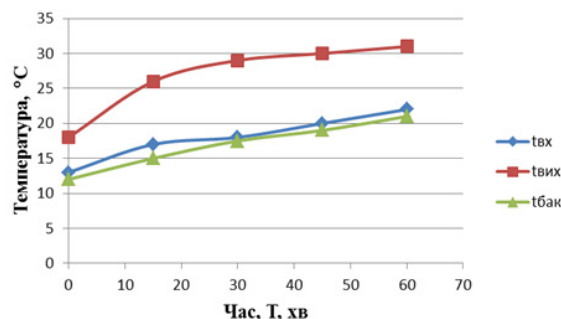


Рис. 4. Температури теплоносія на вході $t_{вх}$ та виході $t_{вих}$ з комбінованого сонячного колектора і в баку-акумуляторі $t_{бак}$ за час T , при напрямку повітряного потоку $\alpha=0^\circ$ і швидкості повітряного потоку $V=2$ м/с та інтенсивності теплового потоку $I=600$ Вт/м²

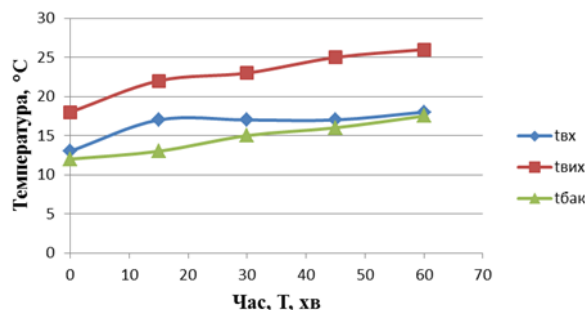


Рис. 5. Температури теплоносія на вході $t_{вх}$ та виході $t_{вих}$ з комбінованого сонячного колектора і в баку-акумуляторі $t_{бак}$ за час T , при напрямку повітряного потоку $\alpha=90^\circ$ і швидкості повітряного потоку $V=6$ м/с та інтенсивності теплового потоку $I=600$ Вт/м²

Проаналізувавши результати експериментальних досліджень, зображених на рис. 4, 5, бачимо, що ефективність комбінованого сонячного колектора зменшується при збільшенні напрямку та швидкості повітряного потоку. Так, температура теплоносія в баку-акумуляторі при швидкості повітряного потоку 2 м/с та напрямку повітряного потоку 0° досягла 21°C , тоді як температура в баку-акумуляторі при швидкості повітряного потоку 6 м/с та напрямку повітряного потоку 90° досягла $17,5^\circ\text{C}$.

За результатами експериментальних досліджень побудовано номограму залежності коефіцієнта ефективності гелі покрівлі без прозорого покриття K_{ef} від швидкості повітряного потоку V , напрямку повітряного потоку α та інтенсивності теплового потоку I_b (рис. 6).

З номограми (рис. 6) видно, що найбільше ефективність комбінованого сонячного колектора зменшується при напрямку повітряного потоку перпендикулярному до сонячного колектора. Ефективність комбінованого сонячного колектора без прозорого покриття у гравітаційній системі теплопостачання при впливі на неї повітряного потоку знижується на 45%.

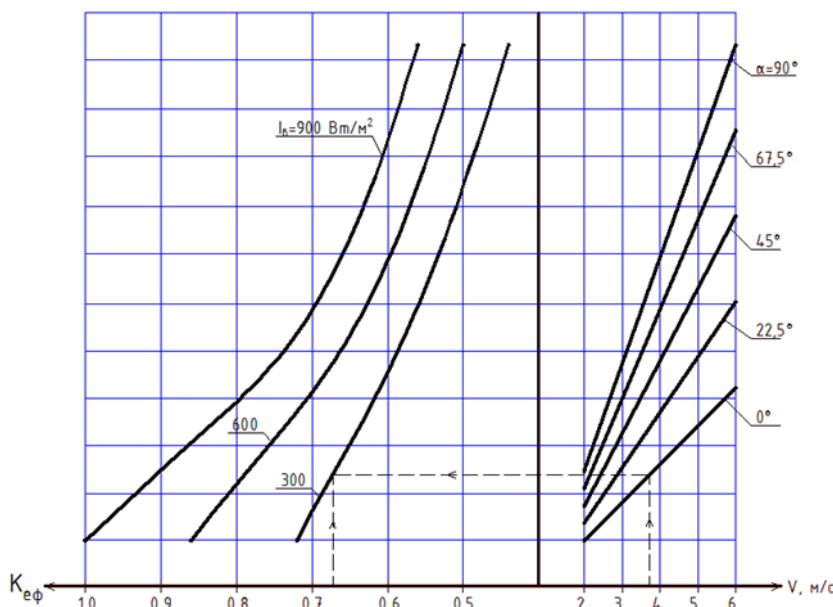


Рис. 6. Номограма залежності коефіцієнта ефективності комбінованого сонячного колектора з прозорим покриттям $K_{\text{эф}}$ від швидкості V , напрямку α повітряного потоку та інтенсивності теплового потоку I_b

7. Обговорення результатів дослідження порівняння ефективності комбінованого сонячного колектора за різних режимів його експлуатації

Дослідження показали ефективну роботу комбінованого сонячного колектора, при значних кутах падіння випромінювання (ранішні і вечірні години). Так кількість тепла, що отримав комбінований сонячний колектор, за інтенсивності теплового потоку $I_b=300$ Вт/м², змінюється від 334,9 кДж до 502,4 кДж при зміні кутів падіння від 30° до 90°, що говорить про можливість її широкого застосування в геліосистемах та ефективної роботи впродовж дня.

Важливим фактором, що впливає на енергетичну ефективність сонячного колектора є повітряний потік. Дослідження показали, що ефективність комбінованого сонячного колектора без прозорого покриття при дії на нього повітряного потоку зменшується на 45 %, що говорить про важливість її захисту від вітру.

8. Висновки

Досліджено ефективність комбінованого сонячного колектора при різних режимах його роботи, а саме з прозорим покриттям та при впливі на неї повітряного потоку різної швидкості та напрямку. Отримано графічні та аналітичні залежності зміни ефективності комбінованого сонячного колектора без прозорого покриття від кутів падіння теплового потоку та його інтенсивності, а також залежності ефективності комбінованого сонячного колектора від швидкості та напрямку повітряного потоку. Отримані залежності дозволяють моделювати роботу геліосистеми в цілому при впливі на неї різних факторів, а саме: проводити розрахунки температури нагріву теплоносія у геліоустановці протягом цілого дня (в будь-який період доби) при наявності чи відсутності вітру. Проведені дослідження показують перспективність

використання комбінованого сонячного колектора у системах теплопостачання. Поєднання систем теплопостачання та покрівлі будинку дозволяє ефективно використовувати тепло покрівельного матеріалу будівлі.

Література

1. Гальчак, В. Альтернативні джерела енергії [Текст]: навч. посіб. / В. Гальчак, В. Боярчук. – Л.: Арал, 2008. – 135 с.
2. Туяхов, А. И. Возобновляемые и альтернативные источники энергии [Текст]: учеб.-метод. пос. / А. И. Туяхов. – Донецк: Вебер, Донец. отд.-ние, 2007. – 184 с.
3. Renewables Global Status Report [Text] / Paris: Global Status Report, 2009. – 32 p.
4. Hazami, M. Thermal Performance of a Solar Heat Storage Accumulator Used For Greenhouses Conditioning [Text] / M. Hazami, S. Kooli, M. Lazaar, A. Farhat, A. Belghith // American Journal of Environmental Sciences. – 2005. – Vol. 1, Issue 4. – P. 270–277. doi: 10.3844/ajessp.2005.270.277
5. Viessmann. Книга о «солнце» [Текст] / Руководство по проектированию систем солнечного теплоснабжения, 2010.
6. Шаповал, С. П. Проблеми енергетики України [Текст]: зб. матер. I міжн. конгресу / С. П. Шаповал, А. С. Романів, О. С. Дацько // Захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування. – Л.: В-во НУ «ЛП», 2009. – С. 112.
7. Maczulak, A. E. Renewable energy: Sources and Methods [Text] / A. Maczulak. – NY: Infobase Publishing, 2010. – 206 p.
8. Pluta, Z. Sloneczne instalacje energetyczne [Text] / Z. Pluta. – Warszawa: Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, 2007. – 246 p.
9. Чайковська, Є. Є. Техніко-економічна оцінка енергозберігаючої технології комбінованого теплопостачання [Текст] / Є. Є. Чайковська, Н. Ф. Шук // Восточно-Европейський журнал передових технологій. – 2011. – Т. 4, № 8 (52). – С. 45–48. – Режим доступу: <http://journals.uran.ua/eejet/article/view/1464/1362>
10. Piotrowski, R. Katalog Projektów Domów Pasywnych i Energooszczędnych [Text] / R. Piotrowski // Warszawa. – 2006. – Vol. 1, Issue 1. – P. 71.
11. Wiśniewski, G. Kolektorzy Sloneczne: energia sloneczna w mieszkalnictwie, hotelarstwie i drobnym przemyśle [Text] / G. Wiśniewski, S. Gołębiowski, M. Grzucik et al. – Warszawa: Medium, 2008. – 201 p.
12. Одинцов, А. Н. Целесообразность использования вертикальных солнечных коллекторов для терморегуляции помещений [Текст] / А. Н. Одинцов // Вісник СевДТУ: Механіка, енергетика, екологія: зб. наук. пр. – 2009. – Вип. 97. – С. 204–209.
13. Патент № 103003 UA МПК (2006), F24J 2/26, F24J 2/52. Геліопротифль [Текст] / Страшко В. В., Собків Д. І., Головченко В. К. // Промислова власність. – 2006. – № 17.