

О.Т. ВОЗНЯК, канд. техн. наук, доц., НУ «ЛП», Львів;

О.М. ПОНА, аспірант, НУ «ЛП», Львів;

С.П. ШАПОВАЛ, канд. техн. наук, асистент, НУ «ЛП», Львів

ВПЛИВ ВІТРУ НА РОБОТУ СОНЯЧНОГО КОЛЕКТОРА З ГОФРОВАНИМ ТЕПЛОПОГЛИНАЧЕМ

Досліджено вплив повітряного потоку на енергетичну ефективність сонячного колектора. Виконано порівняння результатів впливу повітряного потоку на енергетичну ефективність сонячного колектора, зокрема колектора з використанням гофрованого теплопоглинача. Встановлено залежності між різними швидкостями і напрямками повітряного потоку та ефективністю колектора. Розроблена математична модель процесу тепловіддачі від пучка труб сонячного колектора, під дією вітру, при різній швидкості та напрямку повітряного потоку, при коридорному і шахматному розташуванні пучка труб.

Ключові слова: сонячний колектор, сонячне випромінювання, повітряний потік, коефіцієнт тепловіддачі.

Вступ. Існуюче загострення питань, пов'язаних із забезпеченням енергією населення і промисловості України, а також вплив паливно-енергетичного комплексу на навколишнє середовище, викликають структурні зміни у енергосистемі країни. В зв'язку із цим планується розвиток не тільки атомної енергетики, але і нетрадиційних поновлюваних джерел енергії. Необхідність заміни не відновлювальних джерел енергії пов'язана не тільки з їх вичерпуванням, а й з небезпекою планетарного масштабу, яка створюється через спалювання вугілля, нафти, газу, торфу та збільшенням вмісту CO_2 в атмосфері.

З кожним роком усе більше загострюються питання, пов'язані з подальшими шляхами розвитку енергетики. З одного боку, ріст населення, прагнення до підвищення життєвого рівня людей диктують доцільність нарощування потужностей енергетики, причому, просто гігантськими темпами; з іншого боку, екологічні проблеми, що виникають, виснаження природних джерел сировини, і, у першу чергу, нафти і газу, вимагають більш економічного і раціонального використання отриманої енергії. Паливно-енергетичні ресурси з кожним роком стають дорожчими як для промисловості, так і для населення.

Розвіданих запасів нафти людству вистачить на 50 – 100 років видобування, природного газу – на 150 – 200 років. Запаси вугілля дещо більші, однак основні його поклади зосереджені на великій глибині (понад 1000 м), що часто призводить до нещасних випадків та збільшує вартість його видобування. Крім того спалювання викопних палив погіршує екологічну ситуацію на планеті та призводить до виникнення глобального потепління. Паливно-енергетичні ресурси з кожним роком стають дорожчими як для промисловос-

ті, так і для населення.

Тому виникає необхідність у здійсненні комплексних заходів щодо використання нових нетрадиційних джерел енергії. Вирішення цієї проблеми вимагає істотних змін у світовому енергетичному балансі. Альтернативою у цій сфері є використання енергії Сонця. Вона є повністю безкоштовною для людства і дається нам практично в необмеженій кількості.

Сонячна енергія – це невичерпне відновлюване джерело екологічно чистої енергії. Кількість сонячної енергії, що надходить на земну поверхню, в 10 тисяч разів більша від світового загального споживання енергії. Середньорічна кількість сонячної енергії, яка поступає за 1 день на 1 м^2 поверхні Землі, коливається від $7,2\text{ МДж/м}^2$ на півночі до $21,4\text{ МДж/м}^2$ на півдні [2]. Міжнародним енергетичним агентством в 2007 році встановлено, що використання лише 1,5% кількості випромінюваної енергії Сонця могло б забезпечити всі сьогоденні потреби світової енергетики, а реалізація 5% – повністю покрити потреби на перспективу.

Клімат України дає потенційну можливість широкого використання сонячної енергії. Річний потік сонячного випромінювання на 1 м^2 горизонтальної поверхні в південних районах України складає $1100 - 1380\text{ кВт}\cdot\text{год}$, а тривалість сонячного випромінювання складає приблизно 2000 годин на рік.

Постановка проблеми. Використання сонячної енергії є достатньо перспективним для поліпшення екологічної ситуації, зниження витрат органічного палива, а також для забезпечення побутових та технологічних потреб. Існує багато різноманітних конструкцій сонячних колекторів для забезпечення побутових та технологічних потреб. Але вони мають недоліки: висока вартість та низька енергетична ефективність. Тому на сьогоднішній день важливим є вивчення всіх факторів, які впливають на роботу сонячних колекторів для пошуку оптимальних режимів його роботи.

Метою дослідження є вивчення та порівняння результатів впливу повітряного потоку на енергетичну ефективність сонячного колектора, а зокрема колектора з використанням гофрованого теплопоглинача. Важливим є встановити, як змінюється ефективність сонячного колектора при дії на нього повітряного потоку, та визначити його оптимальні характеристики.

Модель процесу тепловіддачі у колекторі. В даній роботі розроблена математична модель процесу тепловіддачі від пучка труб сонячного колектора, під дією вітру, при різній швидкості та напрямку повітряного потоку. Тепловіддача під час поперечного обтікання пучка гладких труб залежить від розташування труб в пучку, який буває *шаховим* та *коридорним*.

У табл. 1 подані дані про визначальні фактори та інтервали варіювання:

Таблиця 1 – Визначальні фактори та інтервали варіювання

Назва фактора	Кодоване позначення	Рівні факторів		Інтервал варіювання
		–	+	
Швидкість повітряного потоку, V , м/с	x_1	2	6	2
Напрямок повітряного потоку, $\pm\psi$, °	x_2	0	90	30

Розрахунок тепловіддачі при поперечному обтіканні повітрям пучка гладких труб здійснювався за формулою:

$$\alpha = \frac{Nu \cdot \lambda}{d}, \quad (1)$$

де α – коефіцієнт тепловіддачі, Вт/(м²·К); λ – коефіцієнт теплопровідності повітря, Вт/(м·К); d – діаметр циркуляційних трубопроводів, м.

Тепловіддача поступово зростає внаслідок підсилення турбулентності в напрямку потоку від першого до третього ряду труб в пучку, після цього вона стабілізується. Однак перемішування повітряного потоку за шахового розташування труб відбувається інтенсивніше, ніж за коридорного, що зумовлює ефективнішу тепловіддачу.

Для визначення коефіцієнта тепловіддачі при коридорному розташуванні труб та при $Re > 2300$ критерій Нуссельта визначається за формулою:

$$Nu = 0,21 \cdot Re^{0,65}, \quad (2)$$

де Re – число Рейнольдса,

$$Re = \frac{V \cdot d}{\nu}, \quad (3)$$

де V – швидкість повітряного потоку, м/с; d – діаметр циркуляційних трубопроводів, м; ν – коефіцієнт кінематичної в'язкості повітря, м²/с.

При шаховому розташуванні труб та при $Re > 2300$, критерій Нуссельта визначається за формулою:

$$Nu = 0,41 \cdot Re^{0,6} \cdot Pr^{0,36} \cdot \left(\frac{Pr}{Pr_{cm}} \right)^{0,25} \cdot \varepsilon_{\phi}, \quad (4)$$

де Pr – критерій Прандтля; ε_{ϕ} – коефіцієнт, що враховує кут атаки між напрямком течії повітряного потоку і віссю труби.

Визначальним розміром у формулах є зовнішній діаметр труб, а визначальною температурою – середнє значення між температурами повітряного потоку до пучка труб і після нього.

Поправка на кількість рядів в пучку труб розраховувалась за формулою:

$$\alpha_n = \left(1 - \frac{0,5}{n} \right) \cdot \alpha, \quad (5)$$

де n – кількість рядів в пучку труб.

Вводилась поправка на напрям повітряного потоку.

$$\alpha_f = \alpha_n \cdot k, \quad (6)$$

де k – поправка на напрям в повітряному потоці.

Результати розрахунків зведено в табл. 2.

Оскільки, коефіцієнт тепловіддачі α_f^{III} при шаховому розташуванні є меншим, ніж коефіцієнт α_f^{K} при коридорному розташуванні труб, можна зробити висновок, що для зменшення впливу повітряного потоку на енергетичну ефективність сонячного колектора доцільніше використовувати похилий дах.

Таблиця 2 – Результати розрахунків значень коефіцієнтів тепловіддачі

V , м/с	ψ , град	Re	Nu	α , $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$	α_n , $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$	α_f^{K} , Вт/(м ² · К), при корид. розташ. труб	α_f^{III} , Вт/(м ² · К), при шах. розташ. труб
2	90	2740	36,0	46,8	42,9	42,9	31,8
4	90	5479	56,5	73,5	67,3	67,3	45,2
6	90	8219	73,6	95,7	87,7	87,7	57,7
2	60	2740	36,0	46,8	42,9	39,5	26,8
4	60	5479	56,5	73,5	67,3	61,9	41,5
6	60	8219	73,6	95,7	87,7	80,7	53,1
2	45	2740	36,0	46,8	42,9	36,5	24,8
4	45	5479	56,5	73,5	67,3	57,2	38,4
6	45	8219	73,6	95,7	87,7	75,5	49,7
2	30	2740	36,0	46,8	42,9	27,9	18,9
4	30	5479	56,5	73,5	67,3	43,7	29,3
6	30	8219	73,6	95,7	87,7	57,0	37,5
2	0	2740	36,0	46,8	42,9	15,9	10,8
4	0	5479	56,5	73,5	67,3	24,9	16,7
6	0	8219	73,6	95,7	87,7	32,4	21,3

Результати експериментальних досліджень. Дослідження проводились на експериментальній установці, яка складалася із сонячного колектора, бака-акумулятора, джерела випромінювання та вимірювальних приладів. Сонячний колектор, що досліджувався, зображено на рис. 1.

Колектор працює наступним чином: сонячне проміння надходить на площину сонячної енергії та трубки для теплоносія. 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 трубопровід подається у бак-акумулятор

гарячої води. Нагріта вода через патрубок подається споживачу. Охолоджений теплоносій по зворотньому трубопроводу повертається у комбінований сонячний колектор, і нагрівається. Спуск води з бака-акумулятора відбувається через патрубок. Випуск повітря – через повітровипускний клапан. Прозоре покриття забезпечує зменшення тепловтрат.

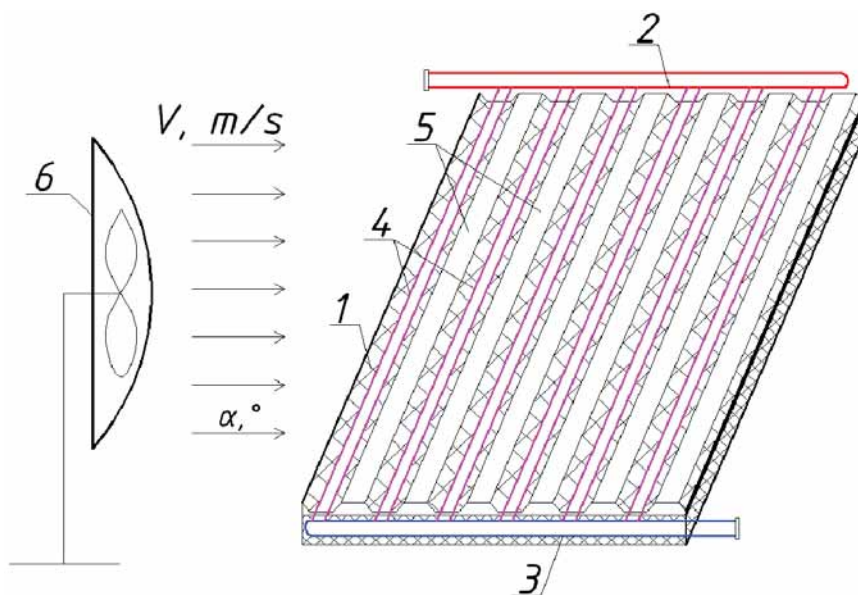


Рис. 1 – Схема експериментальної установки: 1 – сонячний колектор; 2 – подаючий трубопровід; 3 – зворотний трубопровід; 4 – пучок труб; 5 – гофрований теплопоглинач; 6 – вентилятор.

Впродовж експерименту вимірювалась температура теплоносія у трьох точках системи (на виході з комбінованого сонячного колектора, на вході в колектор та в баці-акумуляторі) ртутними термометрами. Швидкість повітряного потоку вимірювалась термоелектроанемометром TESTO 405 – V1. Інтенсивність потоку енергії, що випромінювало джерело, вимірювалась актинометром.

Бак-акумулятор був утеплений мінеральною ватою товщиною 100 мм, а також покритий тепловідбиваючим покриттям. Трубопроводи із гумових шлангів утеплені для мінімізації тепловтрат під час експериментальних досліджень.

Під час проведення експериментів кожен дослід проводився двічі, при однакових умовах, для того, щоб можна було оцінити похибки. Під час кожного дослідження отримувались значення параметрів оптимізації, які усереднювались.

Здійснювався контроль за тим, щоб на проведення експерименту не впливали інші фактори (сонячна енергія через вікно, гладкі поверхні, затінення сонячного колектора, тощо).

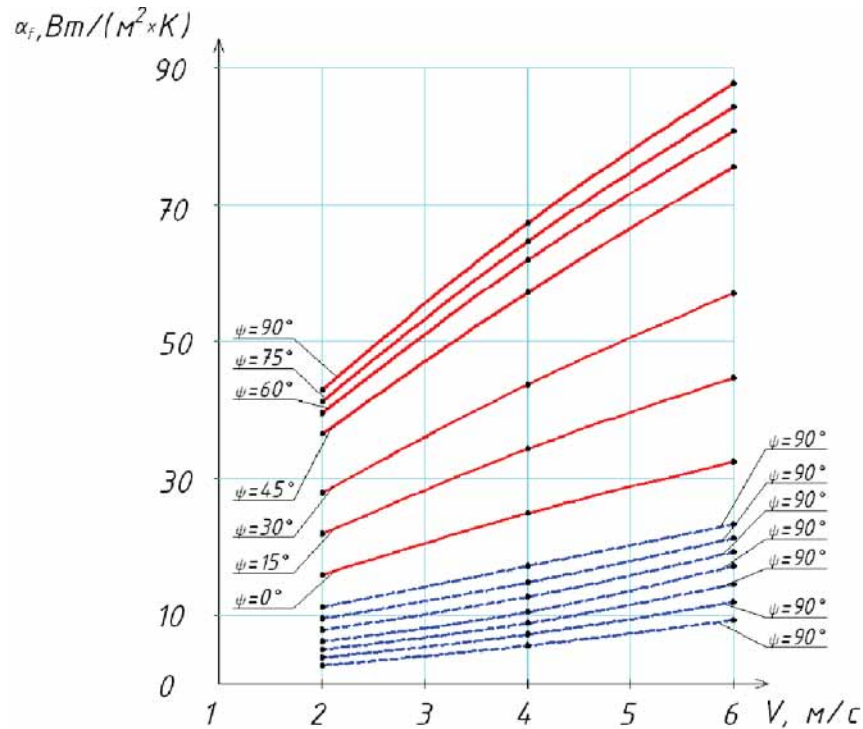


Рис. 2 – Енергетична ефективність сонячного колектора без гофрованого теплопоглиначя (—) та з гофрованим теплопоглиначем (-----).

Природний потік повітря не перевищував 1 м/с, що не впливало на результати дослідів, але дало можливість видаляти надлишкову теплоту під час проведення експерименту, у результаті чого температура навколишнього повітря впродовж експерименту незначно підвищувалась. Після завершення дослідів виключались теплові випромінювачі, зупинялась циркуляція теплоносія, зливався теплоносіє, і система заповнювалась новою порцією охолодженого теплоносія.

Порівняння розрахункових та експериментальних даних. Отримані експериментальні результати впливу повітряного потоку на енергетичну ефективність сонячного колектора з гофрованим теплопоглиначем порівнювались з аналітичними результатами впливу повітряного потоку на ефективність колектора з плоским теплопоглиначем.

Порівняння експериментальних досліджень впливу повітряного потоку на ефективність сонячного колектора з гофрованим теплопоглиначем та аналітичних розрахунків впливу повітряного потоку на ефективність цього ж колектора зображені на рис. 2.

Проаналізувавши результати, можна зробити висновок, що вплив вітру на коефіцієнт тепловіддачі α_f є меншим при гофрованому теплопоглиначі, а отже енергетична ефективність сонячного колектора при використанні гофрованого теплопоглиначя є більшою на 25%, ніж без нього.

Так, при швидкості повітряного потоку 4 м/с та напрямі повітряного потоку 45° коефіцієнт тепловіддачі, за поперечного обтікання повітрям пучка гладких труб, без гофрованого теплопоглиначя становить $57,2 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$, тоді як коефіцієнт тепловіддачі з гофрованим теплопоглиначем становить $10,5 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$.

Висновки. Важливим фактором, який впливає на енергетичну ефективність сонячного колектора, є швидкість повітряного потоку. Дослідження показали, що для її зменшення доцільно використовувати гофрований теплопоглинач, який дозволить збільшити ефективність сонячного колектора на 25%. Також важливим є використання похилого даху для зменшення впливу повітряного потоку.

Список літератури: 1. Wiśniewski G., Gołębiowski S., Grycik M. i in. Kolektory słoneczne: energia słoneczna w mieszkalnictwie, hotelarstwie i drobnym przemyśle. – Warszawa : «Medium», 2008. – 201 s. 2. Твайделл Д., Уэйр А. Возобновляемые источники энергии / пер. с англ. под ред. В. А. Коробкова. – М. : Энергоатомиздат, 1990. – 391 с. 3. Возняк О.Т., Шаповал С.П. Ефективність плоского сонячного колектора при різних інтенсивностях та кутах падіння теплового потоку // Науково-технічний журнал Нова тема: гол. ред. М. В. Степанов. – №3, 2010. – С. 32 – 34. 4. Шаповал С.П., Возняк О.Т., Дацько О.С. Ефективність системи тепlopостачання на основі сонячного колектора при зміні кута надходження теплового потоку // Вісник Національного університету «Львівська політехніка» [«Теорія і практика будівництва»]. – Л.: В-во НУ «ЛП», 2009. – № 655. – С. 299 – 302.

Bibliography (transliterated): 1. Wiśniewski, G., et al. *Kolektory słoneczne: energia słoneczna w mieszkalnictwie, hotelarstwie i drobnym przemyśle*. Warszawa: Medium, 2008. Print. 2. Twaydell, D., and A. Ueyr. *Vozobnovlyаемые istochniki energii. Per. s angl. pod red. V. A. Korobkova*. Moscow: Energoatomizdat, 1990. Print. 3. Voznyak, O. T., and S. P. Shapoval. "Efektivnist ploskogo sonyachnogo kolektora pri rıznyh intensivnostyah ta kutah padinnya teplovogo potoku." *Naukovo-tehnichniy zhurnal Nova tema*. Ed. M. V. Stepanov. No. 3. 2010. 32–34. Print. 4. Shapoval, S. P., O. T. Voznyak and O. S. Datsko. "Efektivnist sistemi teplopostachannya na osnovi sonyachnogo kolektora pri zmini kuta nadhodzhennya teplovogo potoku." *Visnik Natsionalnogo universitetu «Lvivska politehnika»*. Ser.: *Teoriya i praktika budivnitstva*. No. 655. Lviv: NU «Lvivska politehnika», 2009. 299–302. Print.

Надійшла (received) 25.04.2014