

УДК 620.97

Шаповал С. П., к.т.н., асистент (Національний університет
«Львівська політехніка»)

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВПЛИВУ НАПРЯМКУ ТА ШВИДКОСТІ ПОВІТРЯНОГО ПОТОКУ НА КОНВЕКТИВНІ ТЕПЛОТРАТИ ГЕЛІОПОКРІВЛІ

Досліджено вплив повітряного потоку на конвективні тепловтрати геліопокрівлі. Виконано порівняння результатів впливу повітряного потоку на енергетичну ефективність геліопокрівлі з прозорим покриттям та без нього. Розроблена математична модель процесу тепловіддачі від геліопокрівлі з прозорим покриттям та без нього, під дією вітру, при різній швидкості та напрямку повітряного потоку.

Ключові слова: геліопокрівля, конвективні тепловтрати, коефіцієнт тепловіддачі, повітряний потік.

Вступ. На сьогоднішній день основним енергетичним ресурсом для виробництва теплової енергії є органічне паливо, світові потреби якого з кожним роком зростаються на 2–4%. В цей час паливно-енергетичний комплекс є одним з найбільших забруднювачів навколишнього середовища, яке викидає до 70% загального об'єму парникових газів. Одним із перспективних шляхів вирішення цієї проблеми є використання відновлювальних джерел енергії, які є повністю безкоштовними для людства та надаються в необмеженій кількості. До таких джерел енергії відносяться вітер, енергія приливів та відпливів, тепло земних надр, енергія океанів та енергія Сонця. Використання саме останньої є найбільш екологічним та найперспективнішим. Як відомо потенційні можливості сонячної енергетики надзвичайно великі.

Постановка проблеми. Сонячна енергетика – найбільш доступне і недороге джерело теплоти. За підрахунками вчених сонячна енергія, яка поступає на Землю перевищує потреби енергії населення планети за рік в 30000 раз. Річний потік сонячної енергії на територію України складає 1080 – 1380 кВт · год/ м².

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. Одним із шляхів вирішення цієї проблеми є поєд-

нання сонячного колектора та гофрованого покрівельного матеріалу будівлі. Це дозволяє підвищити ефективність сонячного колектора та знизити його вартість.

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

Метою роботи є вивчення впливу повітряного потоку на роботу геліопокрівлі покритої прозорим покриттям та без нього, та порівняння отриманих результатів для визначення оптимальних характеристик геліопокрівлі.

Виклад основного матеріалу. Для дослідження впливу повітряного потоку на роботу геліопокрівлі з гофрованим теплопоглиначем було розроблено математичну модель процесу тепловіддачі від геліопокрівлі з прозорим покриттям та без нього, під дією вітру, при різній швидкості та напрямку повітряного потоку.

У таблиці подані дані про визначальні фактори та інтервали варіювання:

Таблиця

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

Геліопокрівля працює наступним чином: сонячне проміння надходить на гофрований поглинач сонячної енергії. 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 подається у бак-акумулятор гарячої води. Нагріта вода через патрубків подається споживачу. Охолоджений теплоносій по зворотньому трубопроводу повертається у комбінований сонячний колектор, і нагрівається. Спуск води з бака-акумулятора відбувається через патрубків. Випуск повітря – через повітровипускний клапан. Прозоре покриття забезпечує зменшення тепловтрат.

Розрахунок тепловіддачі при поперечному обтіканні повітрям геліопокрівлі з гофрованим теплопоглиначем без прозорого покриття здій-

снюється 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.

В цьому випадку для визначення коефіцієнта тепловіддачі при $Re > 2300$, критерій Нуссельта визначався за формулою:

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

де Re – число Рейнольдса, визначалось за формулою:

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

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

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

Розрахунок тепловіддачі при поперечному обтіканні повітрям гелі-опокрівлі з прозорим покриттям здійснювався за формулою:

$$\alpha = \frac{Nu \cdot \lambda}{l}, \quad (4)$$

де α – коефіцієнт тепловіддачі, Вт/(м² · К); λ – коефіцієнт теплопровідності повітря, Вт/(м · К); l – ширина прозорого покриття, м.

Для визначення коефіцієнта тепловіддачі при $Re < 5 \cdot 10^5$, критерій Нуссельта визначався за критеріальним рівнянням:

$$Nu = 0,67 \cdot Re^{0,5} \cdot Pr^{0,33}, \quad (5)$$

де Pr – критерій Прандтля; Re – число Рейнольдса, визначалось за критеріальним рівнянням:

$$Re = \frac{V \cdot l}{\nu}, \quad (6)$$

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

Визначальним розміром у формулах є ширина прозорого покриття, а визначальною температурою – середнє значення температури повітряного потоку.

Поправка на кількість рядів в пучку труб розраховувалась за формулою:

$$\alpha_n = \left(1 - \frac{0,5}{n}\right) \cdot \alpha, \quad (7)$$

де n – кількість рядів в пучку труб.

Вводилась поправка на напрям повітряного потоку:

$$\alpha_f = \alpha_n \cdot k, \quad (8)$$

де k – поправка на напрям повітряного потоку.

Результати розрахунків зображено на рис. 1 і рис. 2.

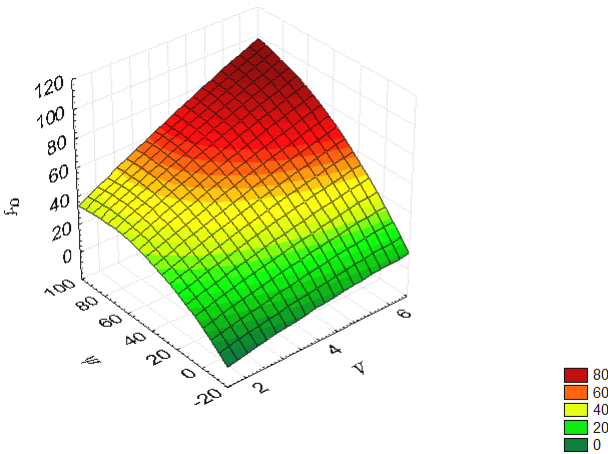


Рис. 1. Залежність коефіцієнта тепловіддачі α_f від швидкості V та напрямку ψ повітряного потоку геліопокрівлі без прозорого покриття

На основі рис. 1 отримана емпірична формула:

$$\alpha_f = -0,5778 + 7,6925V + 0,554\psi - 0,35 \cdot V^2 + 0,0808V \cdot \psi - 0,0045\psi^2. \quad (9)$$

Проаналізувавши результати розрахунків, зображених на рис. 1, бачимо, що коефіцієнт тепловіддачі геліопокрівлі без прозорого покриття при зміні швидкості повітряного потоку від 2 до 6 м/с та напрямку повітряного потоку від 0 до 90° знижується на 60%.

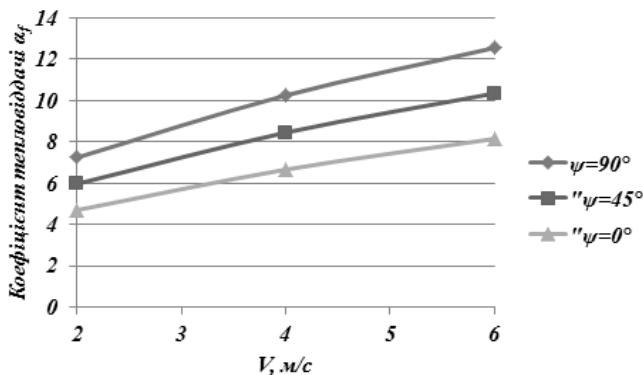


Рис. 2. Залежність коефіцієнта тепловіддачі α_f від швидкості V та напрямку ψ повітряного потоку геліопокрівлі з прозорим покриттям

За результатами була отримана емпірична формула:

$$\alpha_f = 2,0856 + 1,4492V + 0,0183\psi - 0,0733V^2 + 0,0052V \cdot \psi + 8,2305\psi^2. \quad (10)$$

Проаналізувавши результати зображені на рис. 2, можна зробити висновок, що вплив вітру на коефіцієнт тепловіддачі α_f є меншим при напрямку повітряного потоку 0° . Так, при швидкості повітряного потоку 4 м/с та напрямі повітряного потоку 0° коефіцієнт тепловіддачі, становить 6,67 Вт/(м²·К), тоді як коефіцієнт тепловіддачі при напрямку повітряного потоку 90° становить 10,26 Вт/(м²·К).

Для оцінки ефективності геліопокрівлі доцільним є визначення кількості тепла, яке втрачається шляхом конвекції в навколишнє середовище.

Кількість теплоти, яка витрачається конвекцією з геліопокрівлі визначається за формулою:

$$Q_{zn}^{конв} = \alpha_f \cdot F_{mn} \cdot (t_{mn} - t_{н.с.}), \quad (11)$$

де α_f – коефіцієнт тепловіддачі від покрівельного матеріалу будівлі до навколишнього середовища, Вт/(м²·К); F_{mn} – площа поглинач сонячної енергії, м²; t_{mn} – температура теплопоглинач, °С; $t_{н.с.}$ – температура навколишнього середовища, °С.

Результати розрахунків для конвективних втрат тепла геліопокрівлі без прозорого покриття та з прозорим покриттям зображено на рис. 3.

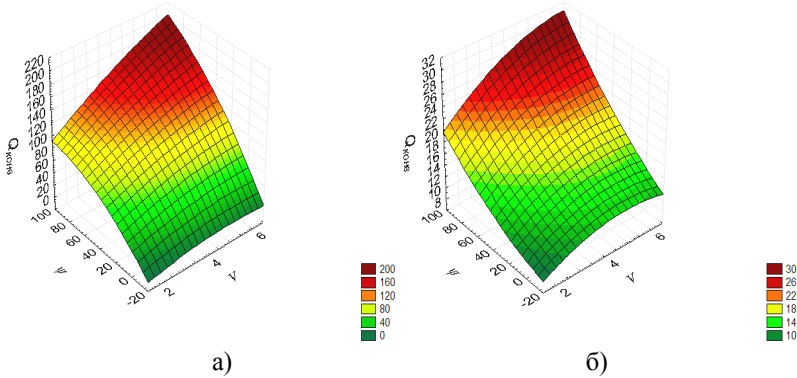


Рис. 3. Залежність конвективних втрат тепла $Q_{\text{конв}}$ від швидкості V та напрямку ψ повітряного потоку для геліопокрівлі з прозорим пориттям (рис. 3, а) та геліопокрівлі без прозорого покриття (рис. 3, б)

Проаналізувавши результати (рис. 3) можна зробити висновок, що конвективні втрати тепла для геліопокрівлі з прозорим покриттям є на 60% меншими, ніж у геліопокрівлі без прозорого покриття.

Висновок. Важливим фактором який впливає на енергетичну ефективність геліопокрівлі є вплив повітряного потоку. При збільшенні напрямку повітряного потоку до 90° коефіцієнт тепловіддачі геліопокрівлі з прозорим покриттям збільшується, що говорить про зменшення її ефективності. Дослідження показали, що для підвищення ефективності геліопокрівлі важливим є зменшення впливу повітряного потоку на неї і конструктивно його слід обмежувати екраном.

Коефіцієнт тепловіддачі геліопокрівлі при наявності прозорого покриття, при дії на неї повітряного потоку, є на 25% меншим, ніж для геліопокрівлі без прозорого покриття. Конвективні втрати тепла для геліопокрівлі з прозорим покриттям є на 60% меншими, ніж у геліопокрівлі без прозорого покриття.

1. Адлер Ю. П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю. П. Адлер, Е. В. Маркова, Ю. В. Грановский. – М. : Наука, 1976. – 279 с.
2. Золотько К. Є. Розробка методик розрахунку та вибір раціональних параметрів систем тепlopостачання з плоскими сонячними колекторами: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.14.04 "Промислова теплоенергетика" – Дніпропетровськ, 1998. – 19 с. 3. Никифорович Є. І., Кідрук М. І. Моделювання та оптимізація систем тепlopостачання будівель з використанням відновлювальних джерел енергії (тепловий насос та сонячний колектор). Розрахунок потоку сонячної радіації // Нова тема. – 2008. – № 2. –

С. 11–13. 4. Мисак Й. С. Сонячна енергетика: теорія та практика: монографія / Й. С. Мисак, О. Т. Возняк, О. С. Дацько, С. П. Шаповал. – Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2014. – 340 с. 5. Харченко Н. В. Индивидуальные солнечные установки. – М. : Энергоатомиздат, 1991. – 208 с.

Рецензент: д.т.н., професор Лабай В. Й. (НУ «ЛП»)

Shapoval S. P., Candidate of Engineering, Assistant (Lviv Polytechnic National University)

MATHEMATICAL MODELING OF IMPACT OF DIRECTION AND SPEED OF AIR FLOW TO CONVECTIVE HEAT LOSS OF HELIOROOF

The influence of air flow on the convective heat loss of helioroof is analyzed. Comparison of the results of the impact of air flow on energy efficiency of helioroof with a transparent coating and without it was showed. The mathematical model of heat transfer from helioroof with a transparent coating and without it, the wind at different speeds and direction of air flow were described.

Keywords: helioroof, convective heat loss, heat transfer coefficient, air flow.

Шаповал С. П., к.т.н., ассистент (Национальный университет «Львовская политехника»)

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НАПРАВЛЕНИЯ И СКОРОСТИ ВОЗДУШНОГО ПОТОКА НА КОНВЕКТИВНЫЕ ТЕПЛОПТЕРИ ГЕЛИОКРОВЛИ

Исследовано влияние воздушного потока на конвективные теплопотери гелиокровли. Выполнено сравнение результатов воздействия воздушного потока на энергетическую эффективность гелиокровли с прозрачным покрытием и без него. Разработана математическая модель процесса теплоотдачи от гелиокровли с прозрачным покрытием и без него, под действием ветра, при разной скорости и направления воздушного потока.

Ключевые слова: гелиокровля, конвективные теплопотери, коэффициент теплоотдачи, воздушный поток.
