

Аналітичні та експериментальні дослідження ефективності відкритого теплопоглинача

к.т.н., асистент, Шаповал С.П.

Національний університет «Львівська політехніка»

Постановка проблеми. Промислові та господарські галузі України тяжіють до ресурсозберігаючих технологій, а темпи застосування нових екологічно чистих способів добування енергії є незначними, тому актуальним питанням сьогодення є впровадження нетрадиційних джерел енергії. Одним із таких джерел є енергія Сонця. Основним компонентом у сонячній теплоенергетиці є сонячний колектор. На їх ефективність впливає ряд факторів, серед яких – швидкість та напрям повітряного потоку. Тому важливо дослідити як змінюється ефективність сонячного колектора при впливі на нього цих факторів.

Виклад основного матеріалу. Для цього важливим є розроблення математичної моделі процесу тепловіддачі від пучка труб сонячного колектора під дією повітряного потоку, при різній швидкості та напрямку.

Визначальними факторами були вибрані такі величини:

- x_1 – швидкість повітряного потоку V , м/с [2; 4; 6];
- x_2 – напрям повітряного потоку $\pm \alpha$, °[90; 60; 45; 30; 0];

Розрахунки здійснювались при інтенсивності теплового потоку 600 Вт/м².

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.

Для визначення коефіцієнта тепловіддачі при коридорному розташуванні труб та 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.

Поправка на кількість рядів в пучку труб розраховувалась за формулою:

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

де, n – кількість рядів в пучку труб.

Вводилась поправка на напрям повітряного потоку:

$$\alpha_f = \alpha_{II} \cdot k \quad (6)$$

де, k – поправка на напрям повітряного потоку.

Залежність коефіцієнта тепловіддачі α_{fk} від швидкості V та напрямку повітряного потоку α зображена на рис. 1.

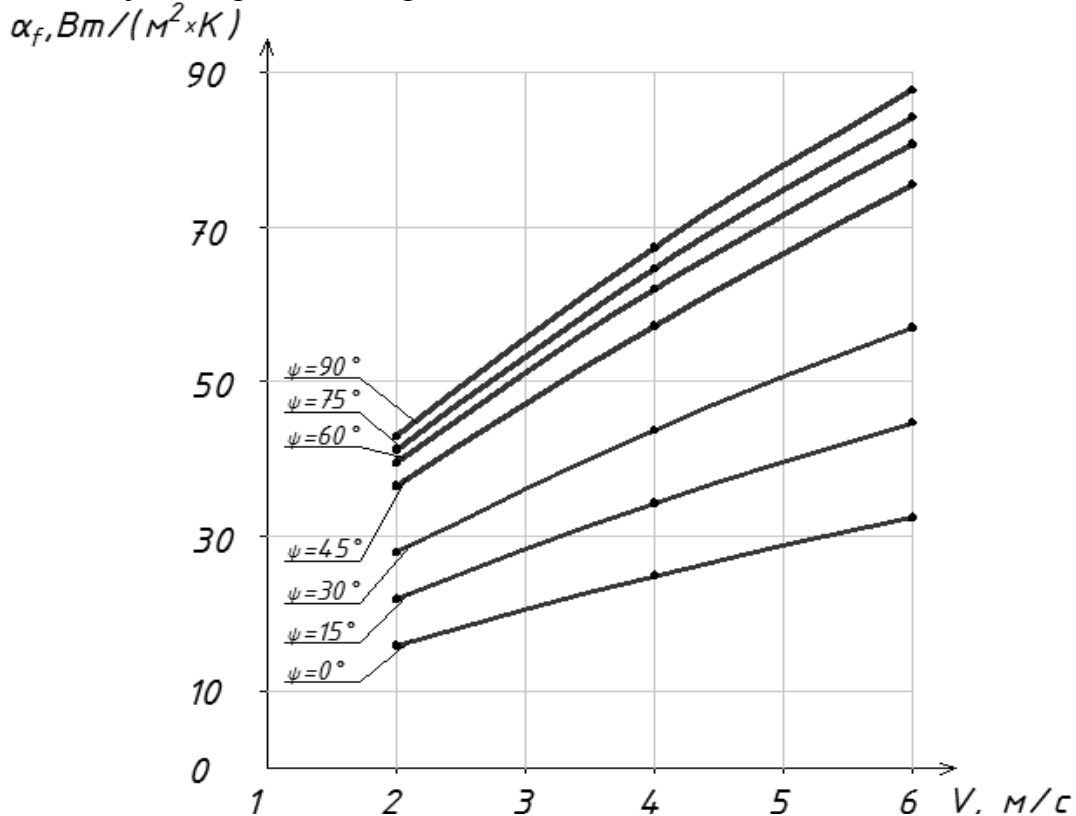


Рис. 1. Залежність коефіцієнта тепловіддачі α_{fk} від швидкості V та напрямку повітряного потоку α

Однак математичні розрахунки не дозволяють в повній мірі відобразити зміну ефективності сонячного колектора при дії на нього повітряного потоку. Тому важливим є проведення досліджень в лабораторних умовах.

Експериментальна установка складалася із сонячного колектора, баку-акумулятора, джерела випромінювання та вимірювальних приладів. Схема експериментальної установки зображена на рис. 2.

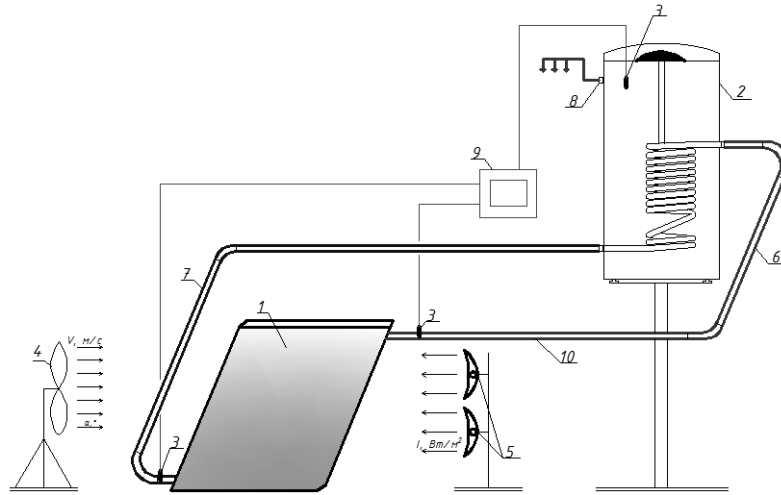


Рис. 2. Схема експериментальної установки:

1 – сонячний колектор; 2 – бак-акумулятор; 3 – термометри опору; 4 – вентилятор; 5 – джерело випромінювання; 6 – зворотній трубопровід; 7 – подаючий трубопровід; 8 – патрубок відбору теплоносія; 9 – дисплей.

Була складена матриця планування трифакторного експерименту із врахуванням взаємодії факторів. Визначальними факторами були вибрані такі величини:

- x_1 – швидкість повітряного потоку V , м/с [2; 4; 6];
- x_2 – напрям повітряного потоку $\pm \alpha$, °[0; 45; 90];
- x_3 – інтенсивність теплового потоку I , °[300; 600; 900];

Параметром оптимізації вибрано коефіцієнт ефективності сонячного колектора K_{ef} який показує як впливає зміна кута падіння променів на його ефективність.

Коефіцієнт ефективності геліосистеми K_{ef} визначається за формулою:

$$K_{ef} = \frac{y_i}{y_{cm}} \quad (7)$$

де y_{cm} – теплова енергія отримана геліосистемою при кутах падіння променів – $\alpha = 90^\circ$ і $\beta = 90^\circ$; y_i – отримана теплова енергія геліосистемою за інших кутів падіння променів.

Матриця планування трифакторного експерименту подана у таблиці 1.

Таблиця 1

Матриця планування експерименту

№	x	x	x	x	x_1	x_1	x_2	$x_1 x$	K_{ef}
1	+	-	-	-	+	+	+	-	0,72
2	+	0	-	-	0	0	+	0	0,67
3	+	+	-	-	-	-	+	+	0,61
4	+	-	0	-	0	+	0	0	0,67
5	+	0	0	-	0	0	0	0	0,61
6	+	+	0	-	0	-	0	0	0,56
7	+	-	+	-	-	+	-	+	0,67

8	+	0	+	-	0	0	-	0	0,50
9	+	+	+	-	+	-	-	-	0,44
1	+	-	-	0	+	0	0	0	0,89
1	+	0	-	0	0	0	0	0	0,78
1	+	+	-	0	-	0	0	0	0,67
1	+	-	0	0	0	0	0	0	0,83
1	+	0	0	0	0	0	0	0	0,67
1	+	+	0	0	0	0	0	0	0,61
1	+	-	+	0	-	0	0	0	0,72
1	+	0	+	0	0	0	0	0	0,56
1	+	+	+	0	+	0	0	0	0,50
1	+	-	-	+	+	-	-	+	1,00
2	+	0	-	+	0	0	-	0	0,94
2	+	+	-	+	-	+	-	-	0,78
2	+	-	0	+	0	-	0	0	0,89
2	+	0	0	+	0	0	0	0	0,83
2	+	+	0	+	0	+	0	0	0,78
2	+	-	+	+	-	-	+	-	0,83
2	+	0	+	+	0	0	+	0	0,72
2	+	+	+	+	+	+	+	+	0,56

За результатами досліджень була отримана емпірична залежність:

$$K_{\text{еф}} = (0,7915 + 0,0003x_3) + (-0,1214 + 0,0001 \cdot x_3) \cdot x_1 + (0,0004 - 1,3333 \cdot 10^{-6} \cdot x_3 \cdot x_2 + 0,0128 - 1,7333 \cdot 10^{-5} \cdot x_3 \cdot x_2 + -0,0005 + + 6,6667 \cdot 10^{-7} \cdot x_3 \cdot x_1 \cdot x_2 + (-1,0972 \cdot 10^{-6} - 1,3718 \cdot 10^{-8} \cdot x_3) \cdot x_2^2 \quad (8)$$

На графіках (рис.3, рис. 4) зображено деякі результати експериментальних досліджень сонячного колектора при зміні напрямку та швидкості повітряного потоку.

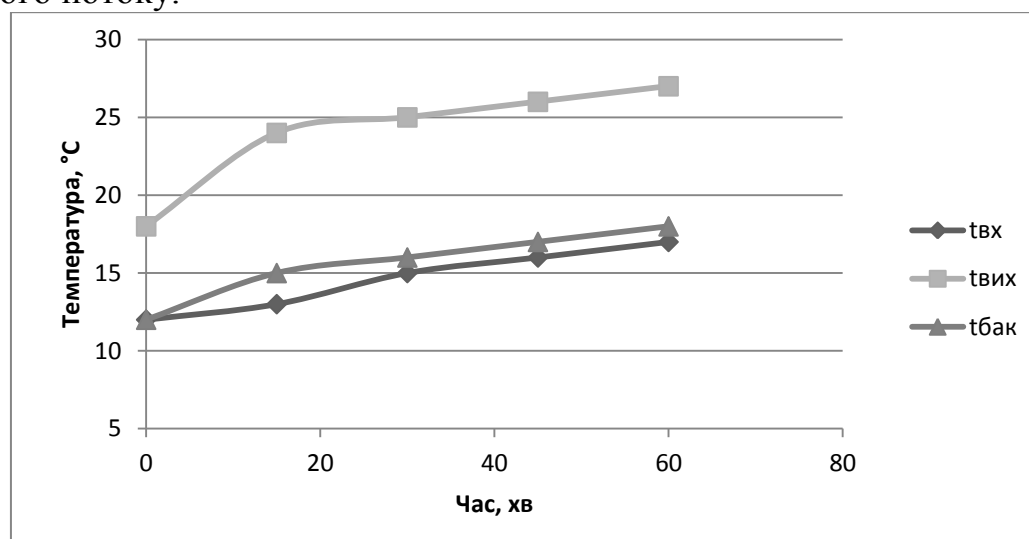


Рис. 3. Температури теплоносія на вході $t_{\text{вх}}$ та виході $t_{\text{вих}}$ з сонячного колектора і в баку-акумуляторі $t_{\text{бак}}$ за час T , при кутах $V = 6 \text{ м/с}$ і $\alpha = 90^\circ$ та інтенсивності теплового потоку $I = 900 \text{ Вт/м}^2$

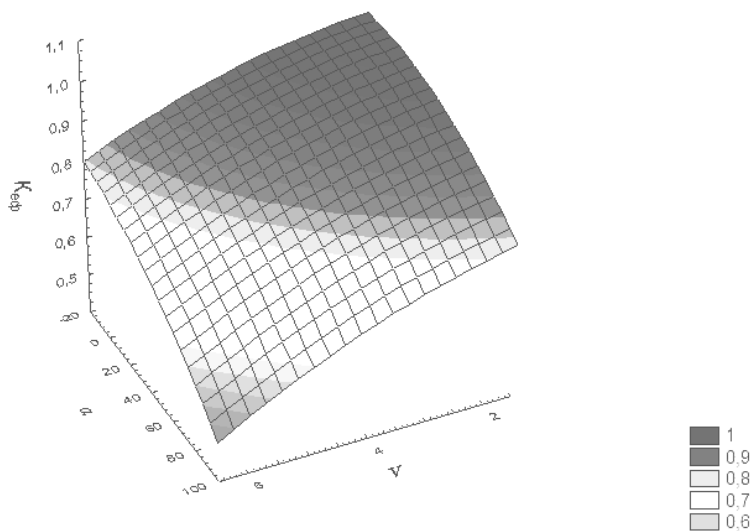


Рис. 4. Залежність ефективності сонячного колектора при впливі на нього повітряного потоку від швидкості повітряного потоку V та напрям повітряного потоку α

З графіку (рис. 4) видно, що найбільше ефективність сонячного колектора зменшується при напрямку повітряного потоку перпендикулярному до сонячного колектора.

Висновок. Важливим фактором, що впливає на енергетичну ефективність сонячного колектора є повітряний потік. Дослідження показали, що ефективність сонячного колектора при дії на нього повітряного потоку зменшується до 55%, що говорить про важливість його захисту від вітру.

Використані джерела

1. 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.
2. Даффи Дж. А. Тепловые процессы с использованием солнечной энергии / Дж. А. Даффи, У. А. Бекман ; пер. с англ. под. ред Ю. Н. Малевского. – М. : Мир, 1977. – 420 с.
3. Возняк О.Т. Ефективність плоского сонячного колектора при різних інтенсивностях та кутах падіння теплового потоку/ О. Т. Возняк, С. П. Шаповал// Науково-технічний журнал Нова тема: гол. ред. М. В. Степанов. – №3, 2010. – с. 32-34.
4. Чайковська Є. Є. Техніко-економічна оцінка енергозберігаючої технології комбінованого теплопостачання / Є. Є. Чайковська, Н. Ф. Ішук // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. — 2011. — № 4/8 (52). — с. 45-48.
5. Пасічник П.О. Проблеми застосування повітряних геліосистем/ П.О. Пасічник, О.В. Приймак// Науково-технічний збірник «Енергоефективність в будівництві та архітектурі». Випуск 6. – К.: КНУБА, 2014 р. – с. 322 - 327.