

ЕФЕКТИВНІСТЬ РОБОТИ ЦІЛОРІЧНИХ ГЕЛІОСИСТЕМ ПРИ ДИСКРЕТНІЙ ОРІЄНТАЦІЇ СОНЯЧНИХ КОЛЕКТОРІВ

Незважаючи на велику різноманітність геліосистем, практично у всіх обов'язковою є наявність трьох основних елементів: енергосприймаючого вузла (сонячних колекторів), енергопереносного середовища (теплоносія) і енергоспоживчого вузла (приладів гарячого водопостачання, опалення тощо). Також може додаватись акумулятор тепла та додаткове джерело енергії. Від правильного та узгодженого функціонування вказаних вузлів у комплексі і кожного зокрема залежить повнота використання променевої енергії, що надходить від сонця.

Максимальне енергопоглинання поверхні прийняття сонячного колектора, що відповідає найвищому значенню коефіцієнта корисної дії і найповнішому використанню сонячної енергії, досягається шляхом надання поверхні положення, перпендикулярного до падаючих променів.

Переорієнтація колекторів дає змогу отримати більше енергії, але невідомо скільки разів на день потрібно повертати колектори, щоб затрати на зміну орієнтації були мінімальними, а отримана кількість енергії максимальною.

Багато робіт [1;2;3] присвячено знаходженню оптимальних кутів нахилу колектора до горизонту і азимута повороту, при яких надійде найбільше енергії сонячного випромінювання. Всі однозначно стверджують, що від колекторів, які змінюють кути положення кожного місяця надходить до 40% більше енергії, ніж від фіксовано встановлених [2].

Денна зміна кутів положення колектора може бути не постійною, а тільки періодичною. Так, сонячна установка [4] встановлюється в оптимальне для даного періоду роботи положення, колектор сонячної енергії дозволяє кілька разів у день вручну змінювати орієнтацію [5].

Поняття півстежного колектора було запропоноване в роботі [6]. Вісь колектора нахилилась до горизонту під кутом, оптимальним для даного місяця. Протягом доби колектор обертався навколо своєї осі кожні 30 хвилин. В результаті на колектор надійшла енергія у кількості майже рівній кількості енергії, яка б надходила на постійно стежний колектор і значно більше, ніж на стаціонарний колектор.

Всі дослідження показують, що денна переорієнтація колектора дає значний вигреш отриманої енергії, порівняно з енергією, що надійшла б від колектора незмінної орієнтації.

Мета даної роботи – знаходження простого і економічного способу орієнтації сонячних колекторів, при якому можна було би отримати максимально можливу кількість сонячної енергії.

Експериментальні дослідження проводились на установці, яка складається з двох сонячних колекторів, бака-ємності для теплоносія, розподільних трубопроводів і шлангів, запірно-регулюючої арматури (рис. 1).

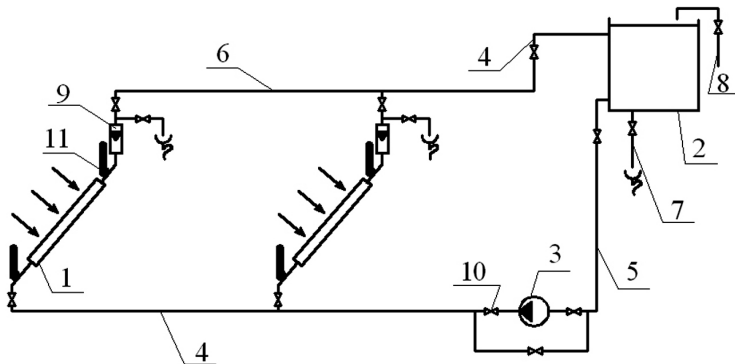


Рис. 1. Принципова схема дослідної установки

1. Сонячний колектор; 2. Ємність для теплоносія; 3. Циркуляційний насос;
4. Розподільний трубопровід; 5. Подаючий трубопровід; 6. Зворотній трубопровід;
7. Зливний трубопровід; 8. Трубопровід холодної води; 9. Витратомір;
10. Запірна арматура; 11. Ртутний термометр

Сумарна радіація на горизонтальну поверхню вимірювалась термоелектричним альбедометром (піранометром), а пряма радіація на перпендикулярну до променів поверхню – термоелектричним актинометром.

Всі сонячні колектори встановлені в заданих оптимальних площинах на спеціальних підставках з механізмами повороту, які можуть забезпечувати орієнтацію кожного колектора в потрібному напрямі і з заданим кутом нахилу до горизонту.

Для визначення температури теплоносія і повітря використовувались лабораторні термометри.

Експериментальні дослідження були проведені при таких умовах та спрощеннях:

- надходження сонячної радіації на колектори приймалося у долях відносно максимально можливої;
- всі сонячні колектори поставлені в заданих оптимальних площинах;
- лінійний розмір трубопроводів не змінювався;
- було прийнято незмінну (стаціонарну) орієнтацію колектора та 4 змінних його орієнтацій;
- заміри проводились 6 разів протягом року (рис. 2) з подальшим усередненням величини коефіцієнта ефективності K_{ef} ;
- прийнято довірчу ймовірність результатів експерименту і апроксимації $\alpha = 0,95$;
- при математичній обробці результатів для дискретних орієнтацій приймалися неперервні функціональні залежності.

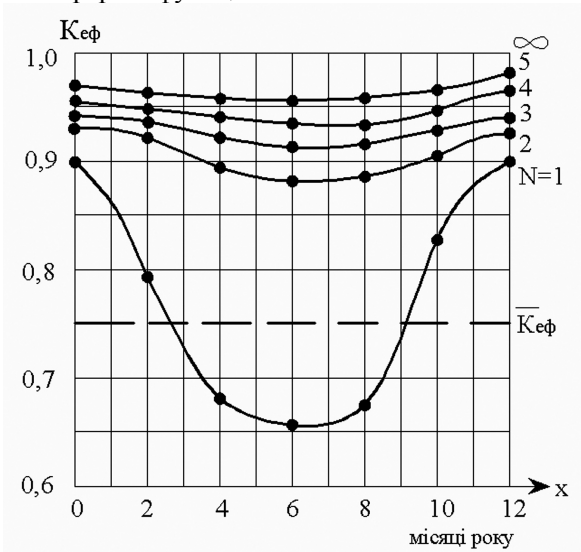


Рис. 2. Річна зміна коефіцієнту ефективності K_{ef} дискретних способів орієнтації N

Добове надходження сонячної радіації на поверхню колектора буде максимальним, коли не тільки кожний напрям при дискретній орієнтації буде найкращим, але і час переорієнтації буде також оптимальним для двох сусідніх положень. Такий стан можливий при досягненні рівності кількості сонячної радіації, що надходить за одиницю часу на площу прийняття при попередній і наступній орієнтаціях [7].

На підставі даних графіка (рис. 2) можна констатувати, що стаціонарна незмінна орієнтація ($N = 1$) сонячних колекторів на південь є найнеефективнішою, до того ж найменше значення K_{ef} ($K_{ef} = 0,65...0,67$) припадає на літні місяці, коли надходження сонячної радіації найвище.

На рис. 2 наведені криві надходження сонячної радіації для всіх місяців року при різних варіантах орієнтації у відношенні до максимально можливого надходження радіації на колектори стежної орієнтації (у долях). Це відношення є коефіцієнтом ефективності \bar{E} дискретного способу орієнтації.

Графіки (рис. 2) апроксимовані наступним чином:

1. Для незмінної (стаціонарної) орієнтації сонячного колектора:

$$N = 1: K_{ef} = 0,66 + (x - 6)^2 * 0,010.$$

2. Для змінної орієнтації сонячного колектора:

$$- N = 2: K_{ef} = 0,88 + (x - 6)^2 * 0,002;$$

$$- N = 3: K_{ef} = 0,93 + (x - 6)^2 * 0,001;$$

$$- N = 4: K_{ef} = 0,95 + (x - 6)^2 * 0,001;$$

$$- N = 5: K_{ef} = 0,96 + (x - 6)^2 * 0,001,$$

де x – це порядковий номер місяця.

Далі за допомогою інтегрування визначалось середнє значення коефіцієнта ефективності K_{ef} , протягом року визначалась його середньорічна величина \bar{K}_{ef} , відповідно для різної кількості дискретних орієнтацій колектора N .

Усереднене значення \bar{K}_{ef} визначалось шляхом апроксимації графіків (рис. 2) та подальшого інтегрування в межах від 0 до 12 по місяцях. Відтак при забезпеченні рівності площ криволінійної трапеції

($S_1 = \int_0^{12} f_i(x)dx$) та відповідних прямокутників ($S_2 = \bar{K}_{ef} * 12$) усереднені значення становили:

$$\bar{K}_{ef} = \frac{1}{12} \int_0^{12} f(x)dx. \quad (1)$$

На графіку (рис. 3) відкладені усереднені значення ефективності K_{ef} як для стаціонарного положення сонячного колектора ($N = 1$), так і для його змінних ($N = 2 \div 5$) дискретних орієнтацій з урахуванням річної зміни коефіцієнта ефективності (рис. 2).

Усереднене значення \bar{K}_{ef} , наприклад, для $N = 1$ отримане таким чином:

$$\begin{aligned} \bar{K}_{ef} &= \frac{1}{12} \int_0^{12} (0,65 + (x-6)^2 * 0,01) dx = \frac{1}{12} (0,65x \Big|_0^{12} + 0,01 \frac{1}{3} (x-6)^2 \Big|_0^{12}) = \\ &= \frac{1}{12} (7,92 + 0,72) = 0,72. \end{aligned}$$

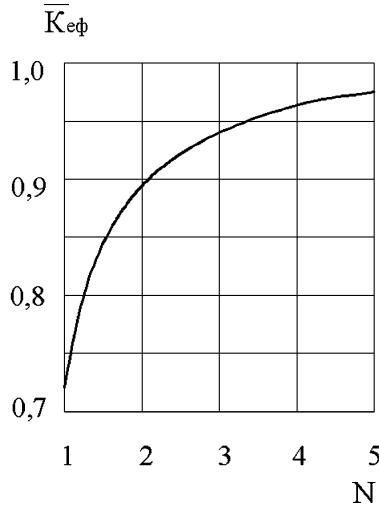


Рис. 3. Залежність коефіцієнту ефективності \bar{K}_{ef} від кількості дискретних орієнтацій N

Як видно з графіку (рис. 3) на якому показана залежність \bar{K}_{ef} від кількості дискретних орієнтацій N , крива асимптотично наближається до прямої $\bar{K}_{ef} = 1$, яка відноситься до стежної системи орієнтації.

Графік (рис. 3) апроксимується залежністю:

$$1 - \bar{K}_{ef} = \frac{a}{N + a}, \quad (2)$$

де a – постійний коефіцієнт.

При застосуванні математичних методів обробки результатів експерименту кількісно визначено константу a : $a = 0,21$, формула набуває вигляду:

$$\bar{K}_{ef} = \frac{N}{N + 0,21}. \quad (3)$$

Але при збільшенні кількості дискретних поворотів збільшується вартість установки, тому необхідно навести відповідні економічні дані (рис. 4).

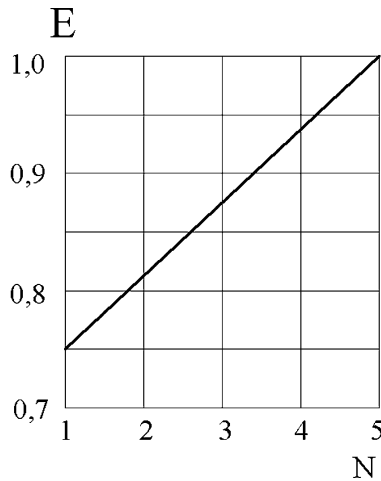


Рис. 4. Залежність відносної вартості \bar{E} від кількості дискретних орієнтацій N

На графіку (рис. 4) зображена залежність відносної вартості \bar{E} (відношення вартості кількості дискретних орієнтацій E_i до максимальної вартості E_{max} , при стаціонарному ($N = 1$) колекторі та чотирьох змінних орієнтаціях ($N = 2 \div 5$) $\bar{E} = E_i / E_{max}$) від кількості дискретних орієнтацій сонячного колектора N .

Цей графік описується лінійною залежністю:

$$\bar{E} = 0,69 + 0,06N. \quad (4)$$

Графік (рис. 3), що характеризує ефективність K_{ef} , не має точок екстремуму і він монотонно зростає, але графік (рис. 4), що характеризує вартість, теж монотонно зростає. У зв'язку з цим, бажаного результату не можливо отримати в точках максимуму чи мінімуму, оскільки їх не існує. Для цього необхідно ввести критерій оптимізації – питому вартість E_o , як відношення відносної вартості \bar{E} до усередненого коефіцієнта ефективності сприйняття сонячної енергії \bar{K}_{ef} :

$$E_o = \frac{\bar{E}}{\bar{K}_{ef}}. \quad (5)$$

Враховуючи залежності (3) та (4), отримаємо:

$$E_o = 0,06N + 0,7 + \frac{0,145}{N}. \quad (6)$$

Функція $E_o = f(N)$ вже не є монотонною, має точку мінімуму, тому не складно після диференціювання визначити $N = 1,55$.

Як було зазначено в умовах та спрощеннях, будуємо графічну залежність, табулюючи формулу (6). Цей графік (рис. 5) дає наочне представлення про характер функції $E_o = f(N)$ і підтверджує наявність точки мінімуму (точка А), для якої дійсно $N = 1,55$.

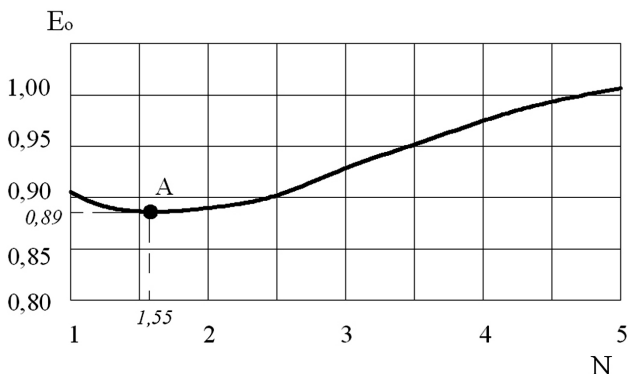


Рис. 5. Залежність питомої вартості E_o від кількості дискретних орієнтацій N

З логічних міркувань необхідно заокруглити до цілого числа $N = 2$.

Висновки. Застосування дискретної орієнтації найефективніше літнім періодом, коли можна використовувати надходження енергії на колектор протягом всієї світлової доби (у порівнянні: при стаціонарній орієнтації період освітлення складає всього 70...80%). Отже, за допомогою дискретної орієнтації можливо збільшити енергозбирання з сонячних колекторів до значень, які практично мало відрізняються від максимально можливих.

Оскільки при збільшенні кількості дискретних поворотів збільшується вартість установки, економічно доцільнішою буде установка з найменшою кількістю поворотів, а саме з $N = 2$. Отже, подвійної орієнтації сонячного колектора цілком достатньо для забезпечення практич-

но максимального надходження сонячної енергії на колектор при мінімальних затратах на переорієнтацію.

Список літератури

1. *Хрустов Б.В., Аvezов Р.Р., Шафеев А.И.* Энергетически оптимальный угол наклона плоских коллекторов // Гелиотехника, 1986, № 5. – С. 51–55.
2. *Ингиоя З.В., Пахапиль Л.Н., Рохумяз Т.А.* Оптимальная ориентация гелиоколлектора в Эстонской ССР // Исследования по строительству и строительной теплофизике. Долговечность конструкций. Таллин, 1987. – С. 15–18.
3. *Brugues P.M.* Utilizacion de la energia solar a baja temperatura por medio de captadores planos // Instalador, 1986, N 21 – P. 33–41.
4. Instalatie solara: Пат. 97101 Румунія / GernomazuD., In-treprinderea de Retele Elektrice- N 125872. Оpubл. 18.08.1989.
5. Solar energy collecting system: Пат. 4770162 США / L'Esperance P.M., Nikkei R.D.; Phillips Petroleum Co. - n498601; Оpubл. 13.09.1988.
6. *Satcunanatnan S., Jolly P., Persad P.* The desing and performance of semi-tracking flat-plate collectors // Solar World Congress Process // 8th Biln Congress International Solar Energy Socitty, Perth, August, 1984. - p. 757-761.
7. *Шнерх. А. С.* Способ ориентации гелиоустановок на Солнце / А.С. N 1490398 СССР. Б.И. № 24, 1989.