

О. Т. Возняк, О. С. Дацько, С. П. Шаповал
Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра теплогазопостачання і вентиляції,
кафедра техногенно-екологічної безпеки

ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГІЇ В ЦІЛОРІЧНИХ ГЕЛІОСИСТЕМАХ ПІД ЧАС ДИСКРЕТНОЇ ОРІЄНТАЦІЇ СОНЯЧНИХ КОЛЕКТОРІВ

© Возняк О. Т., Дацько О. С., Шаповал С. П., 2008

Наведено результати досліджень надходження сонячної радіації на геліоколектори. Встановлено залежність між кількістю дискретних орієнтацій сонячного колектора і ефективністю роботи системи. Наведено результати експериментальних досліджень багаторазово стаціонарної та стежної орієнтації колектора на Сонце.

In this article the results of investigations incomings solar radiation on solar collectors. It was defined the dependense of amount discrete orientation solar collector and efficiency work of system. The publish results of experimental researches are resulted repeated and shadow orientations of collector on a Sun.

Постановка проблеми. Щоденно на Землю падає така кількість енергії від сонячних променів, яку 6 мільярдів жителів планети можуть використати протягом 27 років. Тільки впродовж останніх десятиліть у період зростаючого дефіциту енергії і екологічних проблем, зменшення запасів вугілля, нафти, газу актуальним стає використання альтернативних джерел енергії.

Системи сонячного теплопостачання – одна з найперспективніших і найбільше розроблених тем у геліоенергетиці. Незважаючи на велику різноманітність геліосистем, практично у всіх обов’язкова 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 наданням поверхні положення, перпендикулярного до падаючих променів.

Денна переорієнтація колектора дає значний вииграш отриманої енергії, порівняно з енергією, що надійшла б від стаціонарного колектора. Проте невідомо скільки разів на день потрібно повертати колектори, щоб затрати на переорієнтацію були мінімальними, а отримана кількість енергії максимальною.

Отже, є завдання знаходження простого і економічного способу орієнтації сонячних колекторів, за якого можна було би отримати максимально можливу кількість сонячної енергії.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Знаходженню оптимальних кутів нахилу колектора до горизонту і азимута повороту, за яких надійде найбільше енергії сонячного випромінювання, присвячено багато робіт [1;2;3]. 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 [5] встановлюється в оптимальне для конкретного періоду роботи положення, колектор сонячної енергії дозволяє кілька разів у день вручну змінювати орієнтацію [6].

Поняття півстежного колектора було запропоноване в роботі [7]. Вісь колектора нахилилась до горизонту під кутом, оптимальним для цього місяця. Протягом доби колектор обертався навколо

своїєї осі кожні 30 хв. У результаті на колектор надійшла енергія у кількості майже такій, що дорівнює 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 вииграш отриманої енергії, порівняно з енергією, що надійшла б від колектора незмінної орієнтації.

Формулювання мети статті. Потрібно визначити оптимальну кількість поворотів сонячного колектора під час його дискретної орієнтації для різних районів розташування геліоустановки з погляду економічної та енергетичної ефективності.

Опис експериментальної установки. Установа складається із чотирьох стандартних сонячних колекторів, бака-ємності для теплоносія, розподільних трубопроводів і шлангів, запірної-регулюючої арматури (рис. 1), а саме:

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

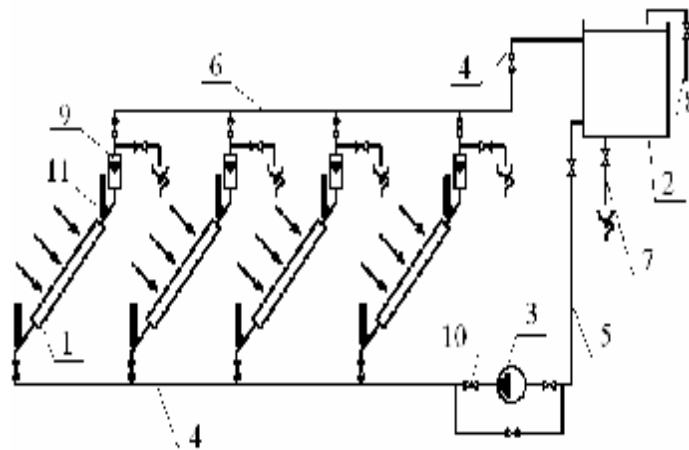


Рис. 1. Принципова схема дослідної установки

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.

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

Для визначення температури теплоносія і повітря використовувались лабораторні термометри.

Виклад основного матеріалу. Експериментальні дослідження були виконані за таких умов та спрощень:

- надходження сонячної радіації на колектори приймали у частках 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 орієнтації;
- замірювали 4 рази протягом року (рис. 2) з подальшим усередненням величини коефіцієнта ефективності K_{ef} ;
- була прийнята довірна ймовірність результатів експерименту і апроксимації $\alpha = 0,95$.

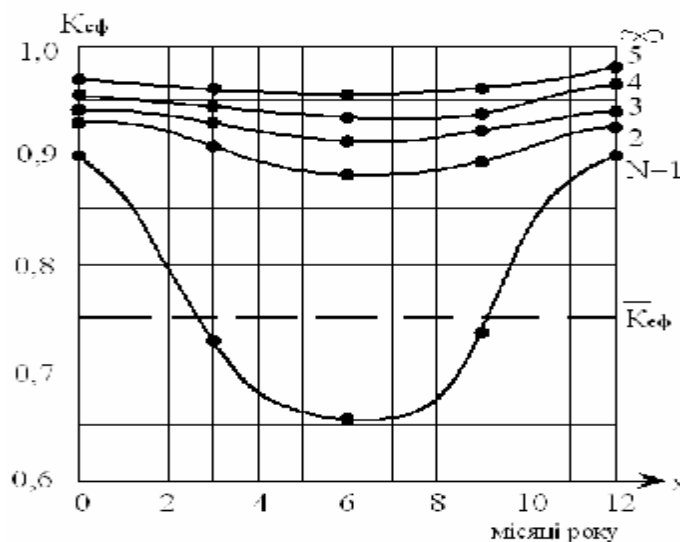


Рис. 2. Річна зміна коефіцієнта ефективності K_{ef} дискретних способів орієнтації N

Добове надходження сонячної радіації на поверхню колектора буде максимальним, коли не тільки кожний напрям під час дискретної орієнтації буде найкращим, але і час переорієнтації буде також оптимальним для двох сусідніх положень. Такий стан можливий у разі досягнення рівності кількості сонячної радіації, що надходить за одиницю часу, на площу прийняття при попередній і наступній орієнтаціях [8].

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 показані криві надходження сонячної радіації для всіх місяців року за різних варіантів орієнтації у відношенні до максимально можливого надходження радіації на колектори степної орієнтації (у частках). Це відношення є коефіцієнтом ефективності \bar{E} дискретного способу орієнтації.

Графіки (рис.2) апроксимовані так:

- для $N = 1$, $K_{ef} = 0,66 + (x - 6)^2 * 0,010$;
- для $N = 2$, $K_{ef} = 0,88 + (x - 6)^2 * 0,002$;
- для $N = 3$, $K_{ef} = 0,93 + (x - 6)^2 * 0,001$;
- для $N = 4$, $K_{ef} = 0,95 + (x - 6)^2 * 0,001$;
- для $N = 5$, $K_{ef} = 0,96 + (x - 6)^2 * 0,001$,

де x – це порядковий номер місяця.

Далі за допомогою інтегрування виконували усереднення величини коефіцієнта ефективності K_{ef} , тобто визначали його середньорічну величину \bar{K}_{ef} , відповідно для різної кількості дискретних орієнтацій колектора N .

Усереднене значення \bar{K}_{ef} визначали апроксимацією графіків (рис.2) та подальшого інтегрування в межах від 0 до 12. Відтак у разі забезпечення рівності площ криволінійної трапеції

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

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

На графіку (рис.3) відкладені усереднені значення ефективності K_{ef} з урахуванням річної зміни коефіцієнта ефективності (рис. 2).

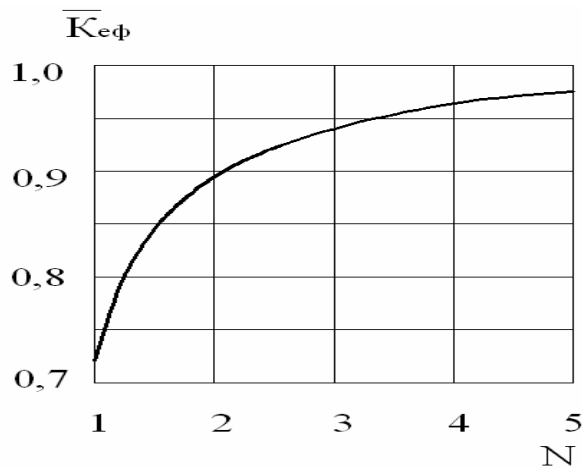


Рис. 3. Залежність коефіцієнта ефективності \bar{K}_{ef} від кількості дискретних орієнтацій N

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

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

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

Графік (рис.3) апроксимується залежністю

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

де a – постійний коефіцієнт.

У разі застосування математичних методів опрацювання результатів експерименту кількісно визначено константу a : $a = 0,21$, формула набуває вигляду:

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

Але під час збільшення кількості дискретних поворотів збільшується вартість установки, тому необхідно навести відповідні економічні дані (рис. 4).

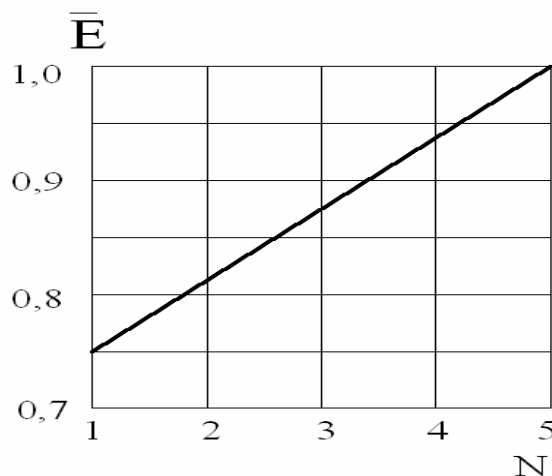


Рис. 4. Залежність відносної вартості \bar{E} від кількості дискретних орієнтацій N

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 апроксимується аналогічно 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 неможливо 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} :

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

Враховуючи залежності (3) та (4):

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

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

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

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

Оскільки у разі збільшення 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 практично максимального надходження сонячної енергії на колектор за мінімальних затрат на переорієнтацію.

1. Хрустов Б.В., Аvezов Р.Р., Шафеев А.И. Энергетически оптимальный угол наклона плоских коллекторов. // Гелиотехника. – 1986. – N 5. – С. 51–55. 2. Ингиоя З.В., Пахапиль Л.Н., Рохумяз Т.А. Оптимальная ориентация гелиоколлектора в Зстонской ССР. // Исследования по строи-тельстве и строительной теплофизике. Долговечность конструкций. – Таллин, 1987. – С. 15–18. 3. Brugues P.M. Utilizacion de la energia solar a baja tem-peratura por medio de captadores planos. // Instalador. – 1986. – N 21 – P. 33–41. 4. Bairi A. Method of quick determination of the angle of slope and the orientation of solar collectors without a sun tracking system. // Solar and Wind Technology. – 1990. – 7. – N 2–3. – P. 327–330. 5. Instalatie solara: Pam. 97101 Румунія. / GernomazuD., In-treprinderea de Retele Elektrice. – N 125872. Оубл. 18.08.1989. 6. Solar energy collecting system : Pam. 4770162 США. / L'Esperance P.M., Nikkei R.D.; Phillips Petroleum Co. – N49860L; Оубл. 13.09.1988. 7. 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. 8. Способ ориентации гелиоустановок на Солнце. /А.С. Шнерх. А.с. N 1490398 СССР. Б.И. N 24, 1989. 9. Estokova A. Methods for environmental assessment of building materials. – Вісник Нац. ун-ту “Львівська політехніка”, “Теорія і практика будівництва”, №600, 2007. – С.368–372. 10. Karalo P. Hot water distribution system – interrupted operation. – Вісник НУ “Львівська політехніка”, “Теорія і практика будівництва”, №600, 2007р. – с.417–422. 11. ViĀeková S., Burdová E., Šenitkova I. Sustainable bulding assessment systems summary. – Вісник Нац. ун-ту “Львівська політехніка”, “Теорія і практика будівництва”, №600, 2007р. –С.559–567.