

УДК 697.329

Аспір. С.П. Шаповал;

доц. О.Т. Возняк, канд. техн. наук – НУ "Львівська політехніка"

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ НАДХОДЖЕННЯ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГІЇ НА ПОТРІЙНО-ОРІЄНТОВАНУ СИСТЕМУ СОНЯЧНИХ КОЛЕКТОРІВ

Описано результати теоретичних досліджень надходження сонячної енергії на потрійно-орієнтовану систему плоских сонячних колекторів. Відомо, що ефективність стаціонарного плоского сонячного колектора, орієнтованого на південь у вечірні й ранішні години роботи, є незначною. Необхідно визначити як змінюється ефективність його роботи протягом дня та визначити оптимальні кути встановлення системи сонячних колекторів. Отримано графічну залежність ефективності цієї системи від кутів встановлення сонячних колекторів.

Ключові слова: сонячний колектор, сонячна енергія, сонячна енергетика.

Постановка проблеми. Сонячна енергія може ефективно трансформуватись у теплову і використовуватись для опалення та гарячого водопостачання. Для цього використовуються сонячні колектори. Найпоширенішим сонячним колектором серед низькотемпературних є плоский сонячний колектор (СК). Зазвичай, максимальна температура, до якої нагрівають такі колектори, дорівнює 100 °С. Плоский колектор може використовувати пряму і розсіяну сонячну радіацію.

Проте плоскі СК погано вловлюють ранішню і вечірню сонячну енергію, що знижує денну ефективність системи сонячного теплопостачання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Оскільки ранішні та вечірні години роботи колектора є неефективними [1], тому пропонуємо встановити групу колекторів, які не лежать в одній площині [2]. Дослідження "дельта-системи" сонячних колекторів показали перспективу застосування таких систем [3]. Однак не визначено оптимальних кутів встановлення такої системи в разі їхньої спільної роботи в одній установці.

Виклад основного матеріалу. Прихід прямої сонячної радіації на довільно орієнтовану поверхню може бути виражено формулою [4]

$$S_{np} = S_m \cdot \cos i, \quad (1)$$

де: S_m – потік прямої радіації біля земної поверхні на перпендикулярну променям поверхню за маси атмосфери m ; $\cos i$ – косинус кута падіння сонячних променів на цю поверхню.

$$\cos i = \cos \alpha (\sin \varphi \cdot \sin \delta + \cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \cos \tau) + \sin \alpha \left\{ \cos \psi_s \left[\operatorname{tg} \varphi (\sin \varphi \cdot \sin \delta + \cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \cos \tau) - \sin \delta \cdot \sec \varphi \right] + \sin \psi_s \cdot \cos \delta \cdot \sin \tau \right\}, \quad (2)$$

де: α – кут нахилу поверхні відносно горизонтальної площини; h – висота сонця; ψ_s – азимут проекції нормалі до схилу на горизонтальну поверхню; φ – широта; δ – схилення Сонця; τ – часовий кут Сонця в конкретний момент часу;

Аналізуючи дані [5], можна отримати таку залежність для S_m :

$$S_m = 1085,46 - 194,10 \frac{1}{\sinh} + 11,36 \frac{1}{\sinh^2}, \quad (3)$$

де $1/\sinh$ – повітряна маса.

$$\sinh = \sin \varphi \cdot \sin \delta + \cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \cos \tau . \quad (4)$$

З урахуванням формул (2), (3) і (4) формула (1) набуде вигляду

$$S_{np} = \left(1085,46 - \frac{194,10}{\sin \varphi \cdot \sin \delta + \cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \cos \tau} + \frac{11,36}{(\sin \varphi \cdot \sin \delta + \cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \cos \tau)^2} \right) \times \\ \times \cos \alpha (\sin \varphi \cdot \sin \delta + \cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \cos \tau) + \\ \sin \alpha \left\{ \cos \psi_s \left[\operatorname{tg} \varphi (\sin \varphi \cdot \sin \delta + \cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \cos \tau) - \sin \delta \cdot \sec \varphi \right] + \sin \psi_s \cdot \cos \delta \cdot \sin \tau \right\} . \quad (5)$$

Користуючись формулою можна розрахувати прихід прямої сонячної радіації в довільний момент дня і року для поверхні із будь-якою орієнтацією.

Для зручності вводяться наступні коефіцієнти:

$$A = \cos \alpha \cdot \sin \varphi \cdot \sin \delta + \sin \alpha \left\{ \cos \psi_s \left[\operatorname{tg} \varphi \sin \varphi \cdot \sin \delta - \sin \delta \cdot \sec \varphi \right] \right\} ; \quad (6)$$

$$B = \cos \alpha \cdot \cos \varphi \cdot \cos \delta + \sin \alpha \cdot \cos \psi_s \cdot \sin \varphi \cdot \cos \delta ;$$

$$C = \sin \alpha \cdot \cos \delta \cdot \sin \psi_s .$$

Для зручності формулу можна подати в наступному вигляді:

$$S_{np} = S_m \cdot [A + B \cdot \cos \tau + C \cdot \sin \tau] . \quad (7)$$

Часові кути, що показують початок і кінець опромінення поверхні є коренями рівняння, що випливає із вище наведеної формули:

$$A + B \cdot \cos \tau + C \cdot \sin \tau = 0 . \quad (8)$$

Також обробивши дані [5] можна отримати наступну залежність для визначення розсіяної радіації на горизонтальну поверхню:

$$S_e = 137,10 - 28,82 \cdot \frac{1}{\sinh} + 2,27 \cdot \frac{1}{\sinh^2} . \quad (9)$$

Для поверхні, що нахилена під кутом потрібно значення розсіяної радіації на горизонтальній поверхні помножити на коефіцієнт, аналітичну залежність для його вираження отримуємо із [5]:

$$K = 1 - 0,0056 \cdot \alpha . \quad (10)$$

З врахуванням (9) і (10) отримаємо формулу для отримання значення розсіяної радіації:

$$S_{roz} = \left(137,10 - 28,82 \cdot \frac{1}{\sinh} + 2,27 \cdot \frac{1}{\sinh^2} \right) \cdot (1 - 0,0056 \cdot \alpha) \quad (11)$$

$$\text{або} \quad S_{roz} = S_e \cdot K . \quad (12)$$

Загальна кількість сонячної енергії, що надходить на довільноорієнтовану поверхню:

$$S = S_{np} + S_{roz} \quad (13)$$

або

$$S_{np} = \left(1085,46 - \frac{194,10}{\sin \varphi \cdot \sin \delta + \cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \cos \tau} + \frac{11,36}{(\sin \varphi \cdot \sin \delta + \cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \cos \tau)^2} \right) \times \\ \times \cos \alpha (\sin \varphi \cdot \sin \delta + \cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \cos \tau) +$$

$$\sin \alpha \left\{ \cos \psi_s \left[\operatorname{tg} \varphi (\sin \varphi \cdot \sin \delta + \cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \cos \tau) - \sin \delta \cdot \sec \varphi \right] + \sin \psi_s \cdot \cos \delta \cdot \sin \tau \right\} + \left(137,10 - 28,82 \cdot \frac{1}{\sinh} + 2,27 \cdot \frac{1}{\sinh^2} \right) \cdot (1 - 0,0056 \cdot \alpha). \quad (14)$$

Математичне моделювання виконували за допомогою програми Mathcad і результати наведено нижче.

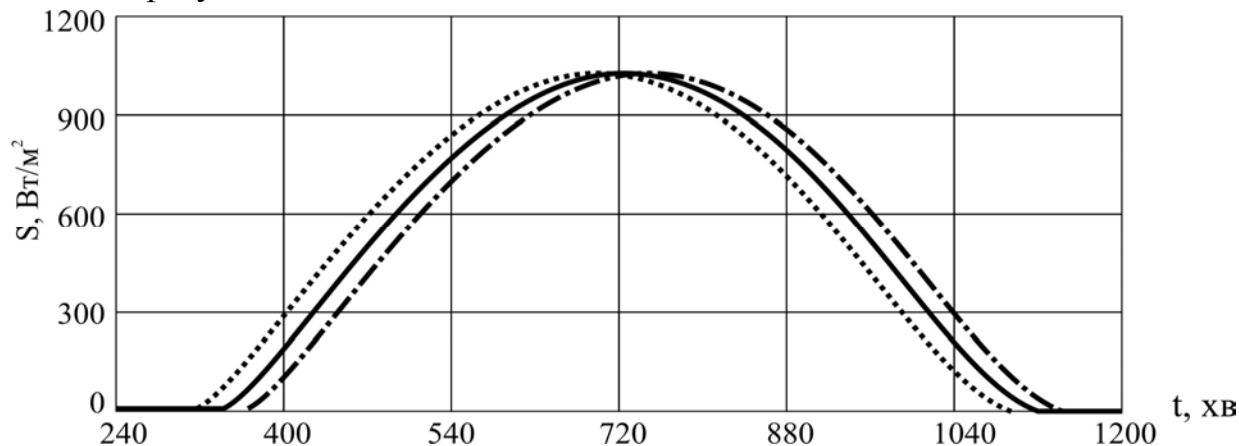


Рис. 1. Надходження сонячної енергії на систему сонячних колекторів потрібної орієнтації (..... лівий СК; — центральний СК; - · - · правий СК): $\psi_s = 15^\circ$; $\alpha = \varphi = 48^\circ$.

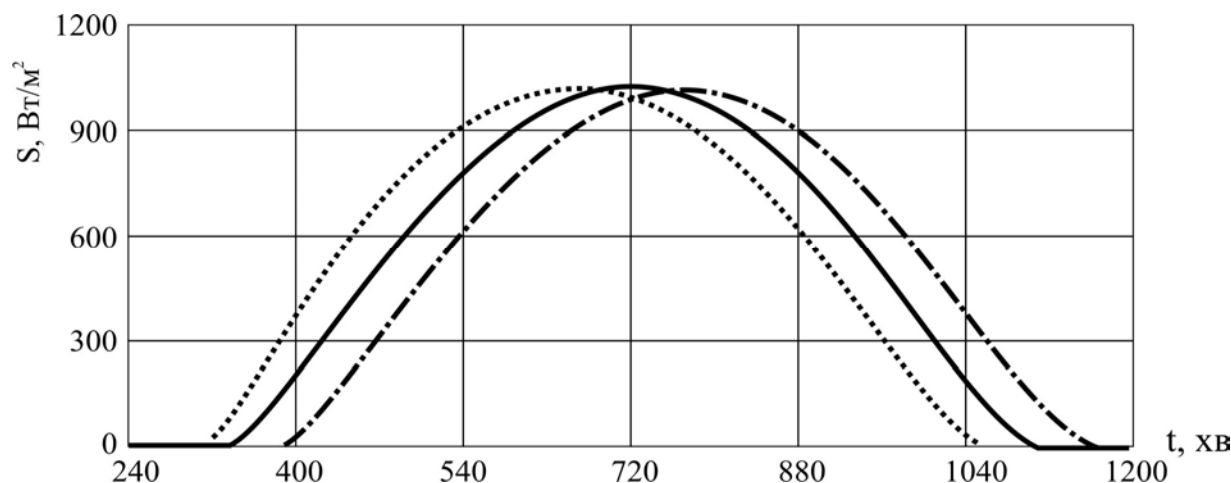


Рис. 2. Надходження сонячної енергії на систему сонячних колекторів потрібної орієнтації: $\psi_s = 30^\circ$; $\alpha = \varphi = 48^\circ$.

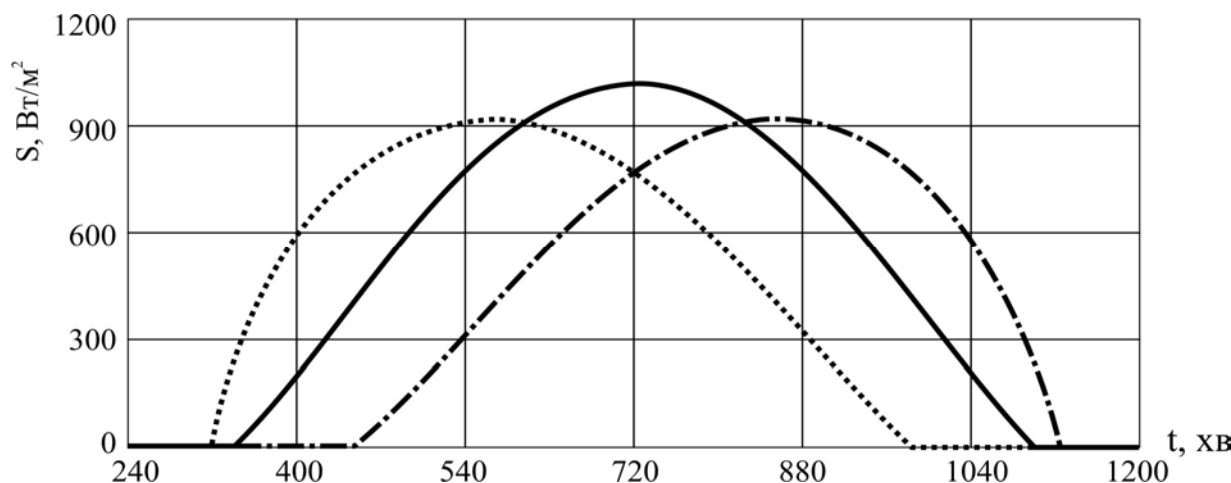


Рис. 3. Надходження сонячної енергії на систему сонячних колекторів потрібної орієнтації: $\psi_s = 90^\circ$; $\alpha = \varphi = 48^\circ$.

Висновки. Потрібно враховувати, що під час проектування сонячної енергетичної установки важливим є отримання енергії з мінімальною вартістю. Таким чином, іноді доцільніше виготовити колектор із нижчим ККД, але дешевший, що вплине на вартість обслуговування і подальшу вартість установки геліотеплопостачання. Встановлення плоских сонячних колекторів із потрібною орієнтацією з азимутальним відхиленням 15^0 дасть змогу підвищити використання сонячної енергії в ранішні та вечірні години.

Література

1. Grzegorz Wiśniewski. Kolektor Słoneczne: energia słoneczna w mieszkalnictwie, hotelarstwie i drobnym przemyśle / Wiśniewski.G., Gołębiowski S., Grzciuk M., Kurowski K., Więcka A. – Warszawa : Medium, 2008. – 201 s.
2. Солнечная энергетика / под ред. Ю.Н. Малевского, М.М. Колтуна. – М. : Изд-во "Мир", 1979. – 390 с.
3. Новаковский Е.В. Анализ эффективности солнечных коллекторов типа "дельта-система" для альтернативных систем теплоснабжения / Е.В. Новаковский, А.Е. Денисова, А.С. Мазуренко // Экотехнологии и ресурсосбережение. – 2003. – № 6. – С. 14-17.
4. Кондратьев К.Я. Радиационный режим наклонных поверхностей / К.Я. Кондратьев, З.И. Пивоварова, М.П. Федорова. – Л. : Гидрометеиздат, 1978. – 170 с.
5. Бринкворт Б. Дж. Солнечная энергия для человека / Б.Дж. Бринкворт : пер. с англ. В.Н. Оглоблева. – М. : Изд-во "Мир", 1976. – 291 с.

Шановал С.П., Возняк О.Т. Математическое моделирование поступления солнечной энергии на тройно-ориентированную систему солнечных коллекторов

Описаны результаты теоретических исследований поступления солнечной энергии на тройно-ориентированную систему плоских солнечных коллекторов. Известно, что эффективность стационарного плоского солнечного коллектора, ориентированного на юг в вечерние и утренние часы работы, является незначительной. Необходимо определить как изменяется эффективность его работы на протяжении дня и определить оптимальные углы установления системы солнечных коллекторов. Получена графическая зависимость эффективности этой системы от углов установления солнечных коллекторов.

Ключевые слова: солнечный коллектор, солнечная энергия, солнечная энергетика.

Shapoval S.P., Voznyak O.T. Mathematical modeling of solar energy income on triple-oriented system of solar collectors

The article describes the results of theoretical research of solar energy income on triple-oriented system of flat solar collectors. It is known that the efficiency of stationary flat solar collector that is oriented to the south in the evening and morning hours is not significant. It is necessary to identify how changes effectiveness of its work during the day and determine the optimal installation angles of solar collectors system. It is obtained the graphic dependence of the given system efficiency from angles of solar collectors installation.

Keywords: solar collector, solar energy, solar energetics.