

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

НАДХОДЖЕННЯ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГІЇ НА ПОТРІЙНО-ОРІЄНТОВАНУ СИСТЕМУ СОНЯЧНИХ КОЛЕКТОРІВ

© Шаповал С.П., Дацько О.С., Омельчук О.В., 2012

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. Одержано графічну та аналітичну залежність надходження сонячної енергії на цю систему сонячних колекторів.

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

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.

Key words: solar collector, solar energy, solar energetics.

Вступ. Незважаючи на велику різноманітність геліосистем, фактично в усіх обов'язковою є наявність трьох основних елементів: енергосприймального 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. Тому стоїть завдання знаходження простого і економічного способу орієнтації сонячних колекторів, за якого можна було б отримати максимально можливу кількість сонячної енергії.

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). Як правило, 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. Необхідно дослідити різні кути встановлення системи потрійно-орієнтованих сонячних колекторів для визначення найефективніших.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Оскільки ранішні та вечірні години роботи колектора є неефективними [1], тому пропонується встановити групу колекторів, що 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 під час їх спільної роботи в одній установці.

Виклад основного матеріалу. Необхідно оцінити, як буде змінюватись впродовж дня, а також і впродовж року надходження сонячної енергії на систему потрійно-орієнтованих сонячних колекторів (рис. 1).

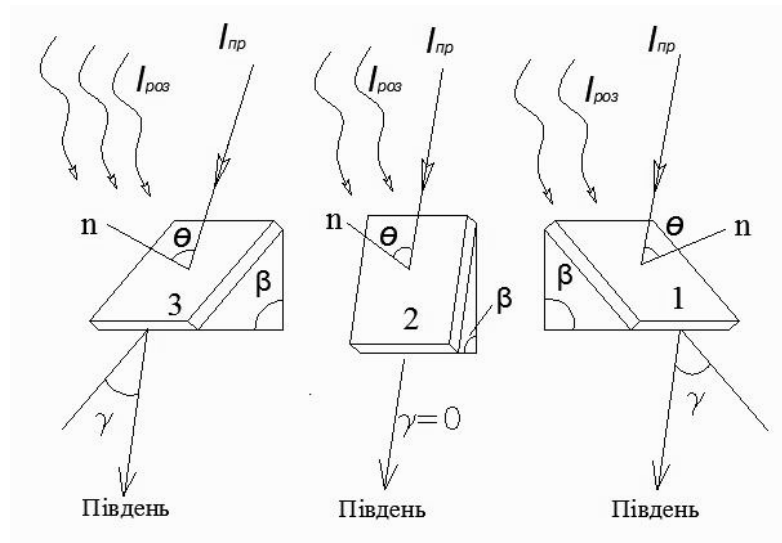


Рис. 1. Надходження сонячної енергії на систему потрійно-орієнтованих сонячних колекторів:
1 – східно-орієнтований СК; 2 – південно-орієнтований СК; 3 – західно-орієнтований СК;
 n – нормаль до теплопоглинача сонячного колектора

Надходження потоку прямої сонячної енергії на орієнтовану в довільний спосіб поверхню виражається формулою [4]:

$$I_{np} = I_m \cdot \cos q, \quad (1)$$

де I_m – інтенсивність потоку прямої сонячної енергії біля земної поверхні на перпендикулярну до сонячних променів поверхню за маси атмосфери m , Вт/м²; q – кут між напрямком випромінювання та нормаллю до цієї поверхні, град.

Косинус кута q можна знайти із співвідношення:

$$\cos q = \sin d \sin j \cos b - \sin d \cos j \sin b \cos g + \cos d \cos j \cos b \cos t + \cos d \sin j \sin b \cos g \cos t + \cos d \sin b \sin g \sin t, \quad (2)$$

де b – кут нахилу поверхні до горизонтальної площини, град; d – нахил Сонця, град; j – географічна широта місцевості, град; t – часовий кут Сонця у даний момент часу, відраховується від моменту істинного полудня, град; g – азимутальний кут площини, тобто відхилення нормалі до площини від місцевого меридіана, град.

Нахил Сонця для визначеного дня року знаходиться за наближеною формулою Купера:

$$d = 23,45 \cdot \sin \left[2p \cdot \frac{(284 + N)}{365} \right], \quad (3)$$

де N – порядковий номер дня року (1 відповідає 1-му січня).

Аналізуючи дані [5], отримаємо таку залежність для I_m :

$$I_m = 1085,46 - 194,10 \cdot \frac{1}{\sin h} + 11,36 \cdot \frac{1}{\sin^2 h}, \quad (4)$$

де h – висота Сонця, град; $1/\sin h$ – повітряна маса.

Своєю чергою, $\sin h$ знаходиться за формулою:

$$\sin h = \sin j \cdot \sin d + \cos j \cdot \cos d \cdot \cos t. \quad (5)$$

З метою спрощення подальших викладень доцільно подати формулу (2.1) у такому вигляді:

$$I_{np} = I_m \cdot (A_1 \cos t + A_2 \sin t + A_3), \quad (6)$$

де

$$A_1 = \cos d \sin j \sin b \cos g + \cos d \cos j \cos b; \quad (7)$$

$$A_2 = \cos d \sin b \sin g; \quad (8)$$

$$A_3 = \sin d \sin j \cos b - \sin d \cos j \sin b \cos g. \quad (9)$$

Часові кути, які відповідають початку і закінченню опромінення поверхні, знаходяться як корені рівняння:

$$A_1 \cos t + A_2 \sin t + A_3 = 0. \quad (10)$$

Для визначення потоку розсіяної сонячної енергії, яка падає на горизонтальну поверхню, використовується формула, отримана в результаті аналізу даних [5]:

$$I_c = 137,10 - 28,82 \cdot \frac{1}{\sin h} + 2,27 \cdot \frac{1}{\sin^2 h}. \quad (11)$$

Для поверхні, яка нахилена під кутом β до горизонтальної площини, потік сонячної енергії знаходиться із співвідношення [5]:

$$I_{poz} = I_c \cdot K, \quad (12)$$

де

$$K = 1 - 0,0056 \cdot b. \quad (13)$$

Тоді загальна кількість сонячної енергії, що надходить на довільно орієнтовану поверхню, обчислюється так:

$$I_c = I_{np} + I_{poz}. \quad (14)$$

Враховуючи (4), (6) та (12), залежність (14) можна подати у такому вигляді:

$$I_c = \left(1085,46 - 194,10 \cdot \frac{1}{\sin h} + 11,36 \cdot \frac{1}{\sin^2 h} \right) \cdot (A_1 \cos t + A_2 \sin t + A_3) + \left(137,10 - 28,82 \cdot \frac{1}{\sin h} + 2,27 \cdot \frac{1}{\sin^2 h} \right) \cdot (1 - 0,0056 \cdot b). \quad (15)$$

Підставивши у вираз (15) співвідношення (5), отримаємо вираз для I_c :

$$I_c = \left(1085,46 - 194,10 \cdot \frac{1}{\sin j \cdot \sin d + \cos j \cdot \cos d \cdot \cos t} + 11,36 \cdot \frac{1}{(\sin j \cdot \sin d + \cos j \cdot \cos d \cdot \cos t)^2} \right) \cdot (A_1 \cos t + A_2 \sin t + A_3) + \left(137,10 - 28,82 \cdot \frac{1}{\sin j \cdot \sin d + \cos j \cdot \cos d \cdot \cos t} + 2,27 \cdot \frac{1}{(\sin j \cdot \sin d + \cos j \cdot \cos d \cdot \cos t)^2} \right) \cdot (1 - 0,0056 \cdot b). \quad (16)$$

Для того, щоб знайти кількість енергії, яка надходить на одиницю площі впродовж доби, необхідно просумувати миттєві надходження з моменту сходу Сонця до його заходу. Це означає, що добова кількість енергії виражається інтегралом від функції $I_c(b, j, d, g, t)$ по змінній t у

межах від $-t_k$ до t_k , де $-t_k$ – часовий кут сходу Сонця, град.; t_k – часовий кут заходу Сонця, град.:

$$Q_{di} = \int_{-t_k}^{t_k} I_c(b, j, d, g, t) dt . \quad (17)$$

На рис. 2–4 показано результати математичного моделювання надходження сонячної енергії впродовж дня на систему сонячних колекторів для середини літа ($N = 115$; $N = 0$ відповідає 20-му березня; T_c – сонячний час).

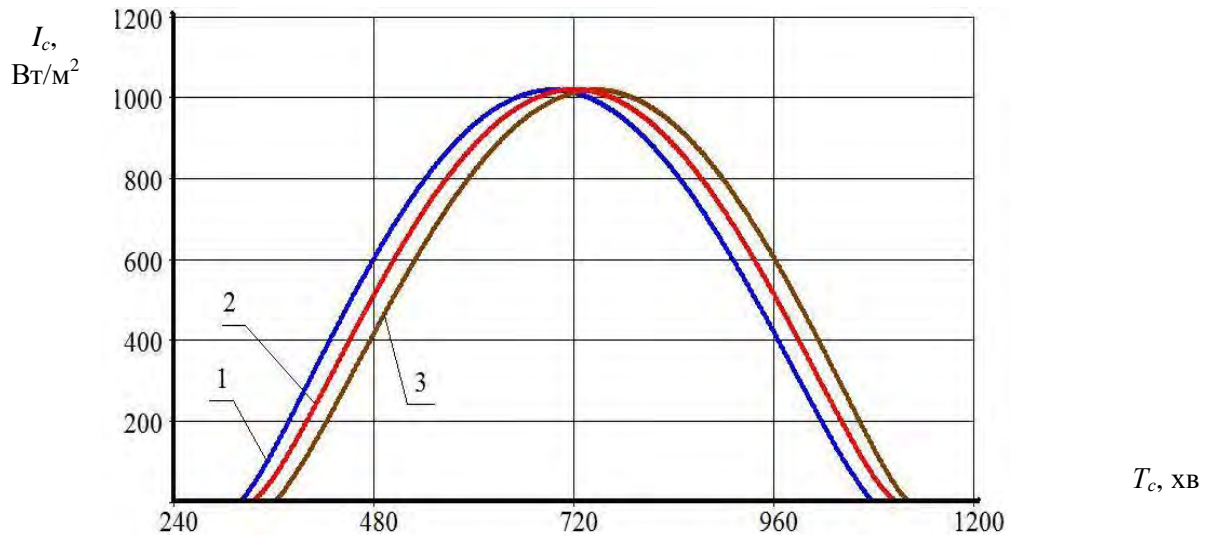


Рис. 2. Зміна інтенсивності потоку сонячної енергії I_c впродовж дня під час її надходження на систему сонячних колекторів потрібної орієнтації:
 1 – східно-орієнтований СК; 2 – південно-орієнтований СК;
 3 – західно-орієнтований СК ($\gamma = 15^\circ$; $\beta = \varphi = 50^\circ$, $N = 115$)

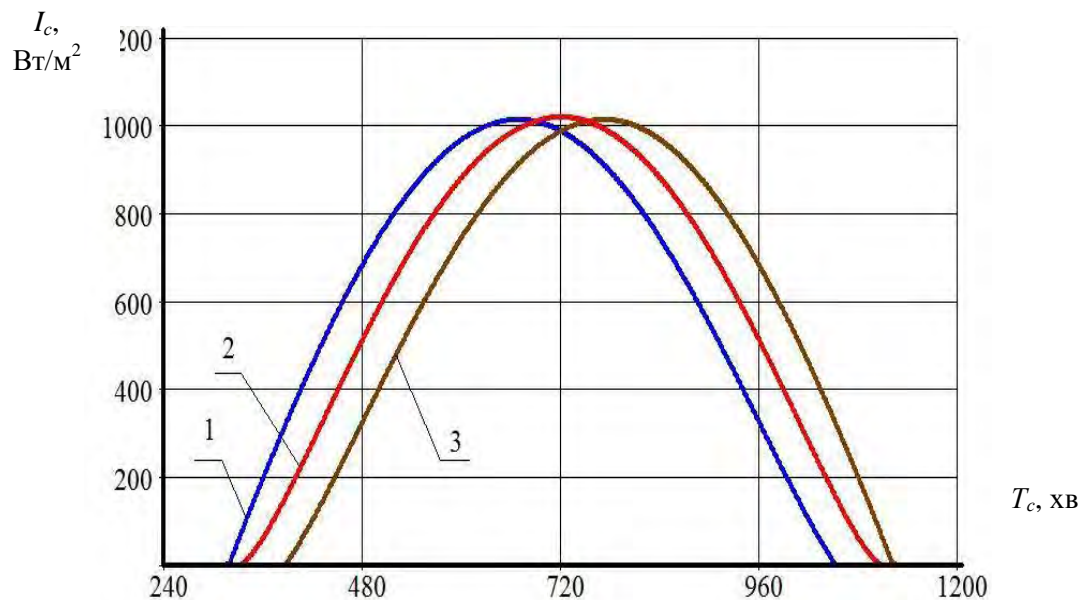


Рис. 3. Зміна інтенсивності потоку сонячної енергії I_c впродовж дня під час її надходження на систему сонячних колекторів потрібної орієнтації:
 1 – східно-орієнтований СК; 2 – південно-орієнтований СК;
 3 – західно-орієнтований СК ($\gamma = 30^\circ$; $\beta = \varphi = 50^\circ$, $N = 115$)

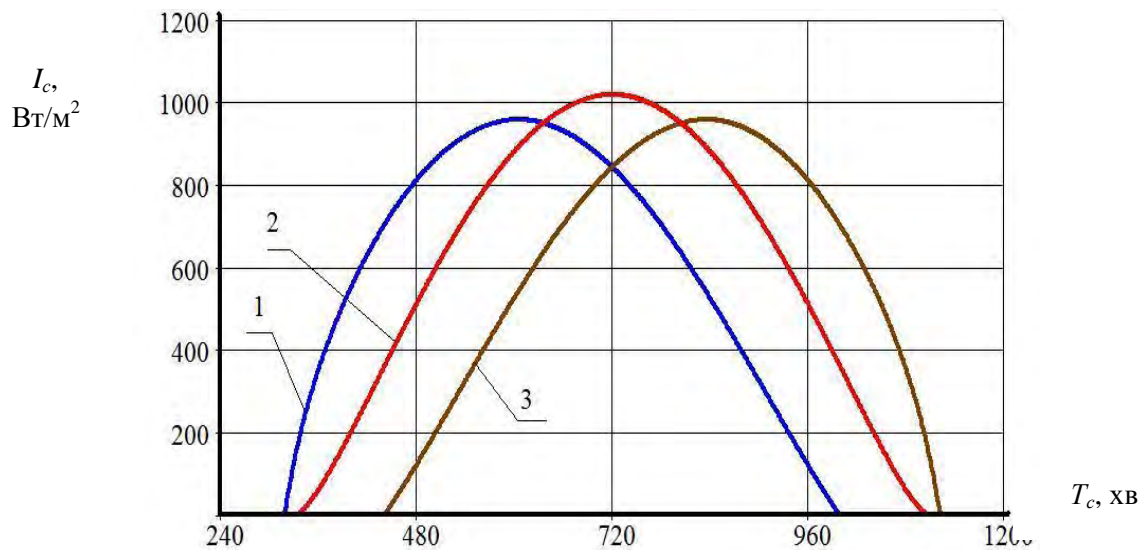


Рис. 4. Зміна інтенсивності потоку сонячної енергії I_c впродовж дня під час її надходження на систему сонячних колекторів потрібної орієнтації:

1 – східно-орієнтований СК; 2 – південно-орієнтований СК;
3 – західно-орієнтований СК ($\gamma = 75^\circ$; $\beta = \varphi = 50^\circ$, $N = 115$)

Як бачимо з графіків, зображених на рис. 2 – 4, азимутальне відхилення збільшує час надходження сонячної енергії на потрібно-орієнтовану поверхню, проте втрачається максимум сонячного випромінювання у полудень. Тому доцільно проаналізувати вплив азимутального відхилення впродовж року.

Висновки. Здійснено комп'ютерне моделювання денного надходження сонячної енергії на потрібно-орієнтовану систему сонячних колекторів для різних широт та різних азимутальних відхилень. Встановлено, що за азимутального відхилення $\gamma = \pm 15^\circ$ спостерігається розширення роботи впродовж дня і максимально можливе надходження енергії впродовж року, при цьому розширюється діапазон роботи системи на 40 хв, що не спостерігалось за інших азимутальних відхилень.

1. Grzegorz Wiśniewski. Kolektorz 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.: Мир, 1979. – 390 с. 3. Новаковський Е.В. Анализ эффективности солнечных коллекторов типа “дельта-система” для альтернативных систем теплоснабжения / Е.В. Новаковський, 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.: Мир, 1976. – 291 с.