

## АНАЛІЗ НАДХОДЖЕННЯ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГІЇ НА ГЕЛІОПАНЕЛЬ

© Касинець М. Є., 2013

**Встановлено, що на ефективність системи сонячного теплопостачання із геліопанелями впливає орієнтація її теплопоглинача. Проаналізовано зміну надходження сонячної енергії на геліопанель впродовж дня, а також і впродовж року. Отримано залежність для знаходження кількості сонячної енергії, що надходить на цю геліопанель.**

**Ключові слова:** сонячна енергія, геліопанель, енергоефективність, енергозбереження.

**Orientation of heat absorber impact at the efficiency of solar heating with heliopanel are found. change in incoming solar energy heliopanel during the day and throughout the year and analyzed. Dependence for finding the amount of solar energy coming to this heliopanel are determined.**

**Key words:** solar energy, heliopanel, energy efficiency, energy conservation.

### Вступ

Сонячне випромінювання, що падає по нормалі на поверхню Землі, змінюється через: зміни у відстані між Землею і Сонцем; атмосферне розсіювання молекулами повітря, водяної пари і пилу; атмосферне поглинання киснем, озоном, водою і вуглекислим газом. Сонячну енергію можна використовувати не тільки для теплопостачання, але й для інших найрізноманітніших потреб, для чого й розроблено низку діючих установок.

### Постановка проблеми

Комбіновані системи сонячного теплопостачання об'єднують функції основного конструктивного призначення (є елементами споруди), а також функції сприйняття і транспортування тепла та холоду. Така система практично не потребує додаткових витрат на експлуатацію, автоматично сприймає та акумулює сонячну енергію. Найпростішим і економічно вигідним є використання сонячної енергії, яку отримує покриття будівлі, тобто використання геліопанелей.

Максимальне енергопоглинання поверхні прийняття геліопанелі, що відповідає найвищому значенню коефіцієнта корисної дії і найповнішому використанню сонячної енергії, досягається наданням поверхні положення, перпендикулярного до падаючих променів. Проте такі системи є стаціонарними, а для їх встановлення необхідно дотримуватися багатьох вимог, щоб не порушити несучої здатності елементів споруди.

Отже, завданням є проаналізувати надходження сонячної енергії на геліопанель.

### Аналіз останніх досліджень та публікацій

В умовах нашого клімату сонячні системи працюють протягом цілого року, щоправда тільки зі змінною ефективністю.

Сонячна енергія досягає атмосфери напрямленим потоком, проте на поверхню Землі надходить як прямий потік, так і розсіяне атмосферне випромінювання.

Сонячне випромінювання, що падає по нормалі на поверхню Землі, змінюється через: зміни у відстані між Землею і Сонцем; атмосферне розсіювання молекулами повітря, водяної пари і пилу; атмосферне поглинання киснем, озоном, водою і вуглекислим газом [4].

Енергія випромінювання Сонця, що падає за одиницю часу на одиницю площі поверхні, перпендикулярної до потоку випромінювання в космічному просторі на середній відстані між Землею і Сонцем, дорівнює  $1353 \text{ Вт/м}^2$  і називається сонячною сталою [4]. Проте густина потоку сонячного випромінювання, що досягає верхньої межі атмосфери, відрізняється від сонячної сталої на  $\pm 1,5\%$  в результаті флуктуації, та на  $\pm 4\%$  протягом року в результаті еліптичності земної орбіти [11]. Цю енергію ( $1353 \text{ Вт/м}^2$ ) в ясну погоду могла б поглинути абсолютно чорна поверхня площею  $1 \text{ м}^2$ , зорієнтована перпендикулярно до сонячних променів. Проте з урахуванням неповного поглинання сонячної енергії та втрат тепла в навколишнє середовище реально діючі та достатньо високоефективні сонячні установки можуть давати лише потужність  $0,4 - 0,6 \text{ кВт/м}^2$  [5].

Відомо, що стан атмосфери значно впливає на її пропускну здатність. Тобто запиленість, туман, задимленість тощо зменшують кількість сонячної енергії, що надходить на поверхню Землі. Так коефіцієнт пропускання сонячного проміння атмосферою змінюється від 0,99 для ідеальної атмосфери до 0,71 для промислових центрів (при куті сходження Сонця 600) [7]. Дані про зміну сонячної енергії протягом дня і року можна отримати із метеорологічних станцій. Але цих станцій є небагато і на них фіксуються тільки денні, середні за місяць денні суми або повні протягом місяця суми сонячної енергії. Також ці дані можна отримати з відповідної літератури [6, 10].

Під час проектування енергоактивних і енергоекономічних будівель (які використовують сонячну енергію для теплопостачання) проводять моделювання надходження сонячної радіації на гранні поверхні, зокрема на геліоприймачі [8].

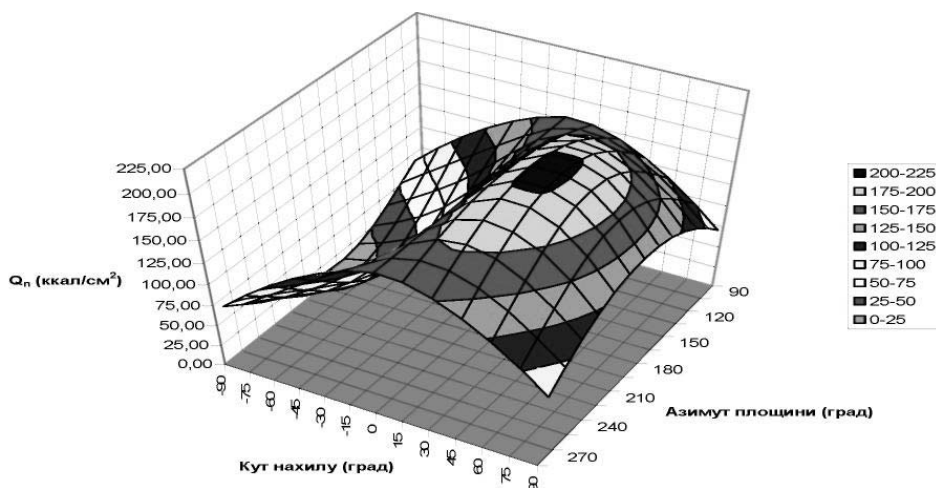


Рис. 1. Залежність надходження СР від азимута і кута нахилу за рік ( $Q_N=f(A_\sigma, \omega)$ )

Всі дослідження показують, що орієнтація сонячного колектора впливає на ефективність системи сонячного теплопостачання, оскільки надходження сонячної енергії нерівномірне протягом дня та залежить від кута падіння променів на поверхню поглинача сонячного колектора.

### Формулювання цілі статті

Метою роботи є оцінка зміни впродовж дня, а також і впродовж року, надходження сонячної енергії на геліопанель.

### Виклад основного матеріалу

Більшість даних вимірювання сонячної енергії отримана для горизонтальної поверхні, але часто потрібно оцінити вплив орієнтації приймаючої поверхні. Для тривалих періодів часу в місцевостях, де не спостерігаються помітні сезонні зміни атмосферних умов, вплив орієнтації оцінюється на основі розрахунку приходу прямої енергії [4].

Дуже часто необхідні дані про сонячну енергію відсутні і для цього можна використати аналітичні залежності, які з достатньою точністю дозволяють виконувати поставлені завдання. Знаходженню та опису таких залежностей присвячено багато праць [1, 2, 9].

Надходження потоку прямої сонячної енергії на довільно орієнтовану поверхню виражається формулою [3]:

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

де  $I_m$  – інтенсивність потоку прямої сонячної енергії біля земної поверхні на перпендикулярну сонячним променям поверхню при масі атмосфери  $m$ , Вт/м<sup>2</sup>;  $\theta$  – кут між напрямком випромінювання та нормаллю до даної поверхні, град.

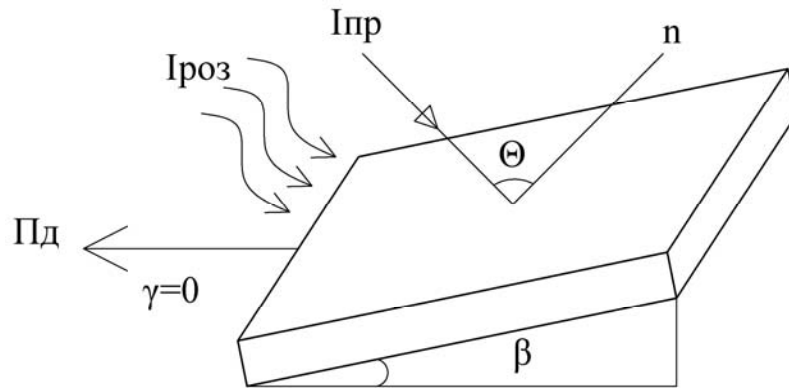


Рис. 2. Надходження сонячної енергії на геліопанель

Косинус кута  $\theta$  можна знайти із співвідношення:

$$\begin{aligned} \cos \theta = & \sin \delta \sin \varphi \cos \beta - \sin \delta \cos \varphi \sin \beta \cos \gamma + \cos \delta \cos \varphi \cos \beta \cos \tau + \\ & + \cos \delta \sin \varphi \sin \beta \cos \gamma \cos \tau + \cos \delta \sin \beta \sin \gamma \sin \tau, \end{aligned} \quad (2)$$

де  $\beta$  – кут нахилу поверхні до горизонтальної площини, град;  $\delta$  – схилення Сонця, град;  $\varphi$  – географічна широта місцевості, град;  $\tau$  – часовий кут Сонця в певний момент часу, відраховується від моменту істинного полудня, град;  $\gamma$  – азимутальний кут площини, тобто відхилення нормалі до площини від місцевого меридіана, град.

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

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

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

Аналізуючи дані [3], отримуємо таку залежність для  $I_m$ :

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

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

Своєю чергою,  $\sinh$  знаходимо за формулою

$$\sinh = \sin \varphi \cdot \sin \delta + \cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \cos \tau, \quad (5)$$

З метою спрощення подальших викладень доцільно подати формулу (1) у вигляді

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

де

$$A_1 = \cos \delta \sin \varphi \sin \beta \cos \gamma + \cos \delta \cos \varphi \cos \beta, \quad (7)$$

$$A_2 = \cos \delta \sin \beta \sin \gamma, \quad (8)$$

$$A_3 = \sin \delta \sin \varphi \cos \beta - \sin \delta \cos \varphi \sin \beta \cos \gamma, \quad (9)$$

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

$$A_1 \cos \tau + A_2 \sin \tau + A_3 = 0, \quad (10)$$

Для визначення потоку розсіяної сонячної енергії, яка падає на горизонтальну поверхню, використовується формула, отримана в результаті аналізу даних [3]:

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

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

$$I_c = I_{np} + I_{роз}, \quad (12)$$

Враховуючи (4) та (6), залежність (13) можна подати у вигляді:

$$I_c = \left( 1085,46 - 194,10 \cdot \frac{1}{\sinh} + 11,36 \cdot \frac{1}{\sin^2 h} \right) \cdot (A_1 \cos \tau + A_2 \sin \tau + A_3) + \left( 137,10 - 28,82 \cdot \frac{1}{\sinh} + 2,27 \cdot \frac{1}{\sin^2 h} \right), \quad (13)$$

Підставивши у вираз (13) співвідношення (5), отримується вираз для  $I_c$ :

$$I_c = \left( 1085,46 - 194,10 \cdot \frac{1}{\sin \varphi \cdot \sin \delta + \cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \cos \tau} + 11,36 \cdot \frac{1}{(\sin \varphi \cdot \sin \delta + \cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \cos \tau)^2} \right) \cdot (A_1 \cos \tau + A_2 \sin \tau + A_3) + \left( 137,10 - 28,82 \cdot \frac{1}{\sin \varphi \cdot \sin \delta + \cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \cos \tau} + 2,27 \cdot \frac{1}{(\sin \varphi \cdot \sin \delta + \cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \cos \tau)^2} \right). \quad (14)$$

### Висновки

Встановлено, що на ефективність системи сонячного теплопостачання із геліопанелями впливає орієнтація її теплопоглинача. Проаналізовано, як буде змінюватись впродовж дня, а також і впродовж року, надходження сонячної енергії на геліопанель. Отримано формулу для знаходження кількості сонячної енергії, що надходить на цю геліопанель.

1. Альbedo и угловые характеристики отражения подстилающей поверхности и облаков : монография / [К. Я. Кондратьев, В. И. Биненко, Л. Н. Дьяченко и др.] – Л.: Гидрометеиздат, 1981. – 232 с. 2. Андерсон Б. Солнечная энергия (Основы строительного проектирования) / Б. Андерсон ; пер. с англ. А. Р. Анисимова. – М. : Стройиздат, 1982. – 375 с. 3. Бринкворт Б. Дж. Солнечная энергия для человека / Б. Дж. Бринкворт; пер. с англ. В. Н. Оглоблева. – М. : Мир, 1976. – 291 с. 4. 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. 4. Жолонко М.М. Практична енергоекологія. Частина 1 : альтернативні джерела енергії / М. М. Жолонко. – Черкаси : Вид. від. ЧНУ ім. Б.Хмельницького, 2008. – 84 с. 5. Климатологический справочник СССР. Вып. 10. Украинская ССР и Молдавская ССР. Ч. 6 / Облачность и солнечное сияние. – Л. : Гидрометиздат, 1963. – 944 с. 6. Кондратьев К. Я. Актинометрия / К. Я. Кондратьев – Л.: Гидрометеорологическое издательство, 1965. – 690 с. 7. Крепис И. Б. Солнце людям / И. Б. Крепис. – Кишинев : Штица, 1989. – 85 с. 8. Мартинов В.Л. Геометричні параметри розрахунку надходження сонячної радіації на площину будинку за рік “за збільшеними показниками” // Вісник КДПУ

імені Михайла Остроградського, "Енергетика та енергоресурсозбереження", Вип. 5/2009 (58).  
Ч. 1. – С. 32–34. 9. Солнечная энергетика : учеб. пособие для вузов / [В. И. Виссарионов, Г. В. Дерюгина, В. А. Кузнецова, Н. К. Калинин]. – М. : Издательский дом МЭИ, 2008. – 276 с.  
10. Справочник по климату СССР. Вып. 10. Ч.1 / Солнечная радиация, радиоационный баланс и солнечное сияние. – Л. : Гидрометиздат, 1966. – 124 с.  
11. Твайделл Д. Возобновляемые источники энергии / Д. Твайделл, А. Уэйр; пер. с англ. под ред. В. А. Коробкова. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 391 с.

УДК 697.922.2

Б. І. Гулай, С.С. Жуковський, С.П. Шаповал  
Національний університет "Львівська політехніка",  
кафедра теплогазопостачання і вентиляції

## ЗАСТОСУВАННЯ ЗАСОБІВ ВИРІВНЮВАННЯ НАГНІТАЛЬНОГО ПОТОКУ ПРИ РОБОТІ РАДІАЛЬНИХ ВЕНТИЛЯТОРІВ НА ВСМОКТУВАННЯ

© Гулай Б. І., Жуковський С.С., Шаповал С.П., 2013

Подано результати теоретичних та експериментальних досліджень застосування засобів вирівнювання нагнітального потоку при роботі радіальних вентиляторів на всмоктування. Проаналізовано підвищення енергоефективності застосування радіальних вентиляторів із вперед та назад загнутими лопатками робочого колеса, а також здійснено порівняння характеристик цих вентиляторів із безпосередньо приєднаними до них дифузорами.

**Ключові слова:** радіальний вентилятор, дифузор, вихідний патрубок, вирівнювальна пластина.

**The results of theoretical and experimental investigations of the use of flow injection alignment while working on radial fan suction. Analysis of energy efficiency use of radial fans with forward and backward curved impeller blades, and by comparing the characteristics of these fans with directly attached to their diffusers.**

**Key words:** radial fan, diffuser, nozzle output, leveling plate.

### Вступ

Розвиток різних сфер промисловості, вдосконалення технологічних процесів, збільшення обсягів виробництва, громадського і промислового будівництва, підвищення вимог до повітряного середовища виробничих і невиробничих приміщень, вимагає все більшого застосування систем кондиціонування та вентиляції, що спричинює збільшення енергоємності парку цього обладнання. Зменшення капітальних та експлуатаційних затрат, покращення характеристики та надійності роботи вентиляційних систем вимагає застосування оптимізованих конструкцій елементів повітропроводів, передусім аеродинамічного їх вдосконалення, особливо безпосередньо розміщених за радіальними вентиляторами, внаслідок нерівномірного та несиметричного поля швидкостей, особливо за підвищеного динамічного тиску.

Наявні рекомендації щодо приєднання радіальних вентиляторів до вентиляційних систем через вирівнювальні ділянки або дифузори є суперечливими і не завжди забезпечують їх енергоефективну роботу особливо при різних типах вентиляторів.