

УДК 620.91:551.521.37

Тимофєєв В.Є., докт. геогр. наук,
Кихтенко Я. В., аспірант,

Український гідрометеорологічний інститут ДСНС України та НАН України, м. Київ,
ykihtenko@gmail.com

СОНЯЧНЕ ВИПРОМІНЮВАННЯ НА ПОХИЛУ ПОВЕРХНЮ ТА ОПТИМАЛЬНІ КУТИ НАХИЛУ СОНЯЧНОГО КОЛЕКТОРА

Сумарне сонячне випромінювання, що падає на похилу поверхню (I_{β}), має 3 складові: дифузне випромінювання ($I_{d\beta}$), променеве випромінювання ($I_{b\beta}$) та відбите випромінювання (I_r) - частка падаючого випромінювання, що відбивається землею [1].

$$I_{\beta} = I_{d\beta} + I_{b\beta} + I_r. \quad (1)$$

Загальне добове позаземне випромінювання на нахилу поверхню, звернену на південь, становить [2]:

$$I_{o\beta} = \frac{24}{\pi} I_o [1 + 0.034 \cos(\frac{2\pi n}{365})] \cdot [\cos(\varphi - \beta) \cos\delta \sin\theta + \theta \sin(\varphi - \beta) \sin\delta], \quad (2)$$

де n – номер дня в році;

φ – кут широти;

β – кут нахилу поверхні;

δ – кут схилення;

θ – годинний кут.

Найбільшу кількість енергії від Сонця можна отримати при використанні системи, кут нахилу якої змінюється відповідно до положення Сонця [3].

Величина радіації, яку приймає сонячний колектор, залежить від багатьох факторів, таких як широта місця розташування, кут схилення (кутове положення Сонця в сонячний полудень відносно площини екватора), кут нахилу, годинний кут сходу Сонця та азимутальний кут. За словами Бенганема кути орієнтації і кути нахилу мають значний вплив на величину сонячного випромінювання, що досягає поверхні колектора [4].

Для конструювання сонячних енергетичних установок з рухомою поверхнею необхідно використовувати значення сумарної радіації, яка надходить на поверхню, нахилу на оптимальний кут для кожного місяця, та на поверхню, нахилу на кут, що дорівнює широті місцевості, а також оцінку ефективності роботи різних сонячних енергетичних установок (СЕУ) за даними про кількість виробленої енергії [3].

Вчений Хонсберг запропонував такі кути нахилу: $\varphi + 15^\circ$ для оптимального, $\varphi - 15^\circ$ для максимального та φ для рівномірного виробництва енергії [4]. Адже при однаковій широті місцевості, річне виробництво енергії становить для фотоінтегратора від 80 до 200 кВт·год/м², а для плоского колектора – від 200 до 900 кВт·год/м² [3]. Тому дані кути нахилу є оптимальними показниками кутів нахилу сонячного колектора для придатних для розвитку сонячної енергетики регіонів Землі, у тому числі і України. Спостереження показують, що кут нахилу $\varphi + 15^\circ$ має кращі показники з середини січня по березень та з середини вересня до середини жовтня. Дані також показують, що відповідний кут нахилу для перших 2 тижнів квітня та останніх 2 тижнів липня становить $\varphi - 15^\circ$. Інформація про оптимальні кути нахилу сонячного колектора на похилій поверхні в залежності від географічної широти місцевості подано в таблиці 1 [4].

Для періодичного відстеження сонячного колектора протягом року рекомендуються такі кути нахилу: $\varphi + 25^\circ$ для листопада, грудня та січня; $\varphi + 15^\circ$ для лютого, вересня та жовтня; $\varphi - 15^\circ$ для серпня; $\varphi - 25^\circ$ для травня, червня та липня; та φ для березня та квітня. Ці рекомендації підходять для сонячних колекторів із пристроями нахилу. Кути нахилу $\varphi + 25^\circ$

і $\phi - 25^\circ$ не є загальноприйнятими в літературі; однак, як показують результати, ці кути нахилу сонячного колектора актуальні для періодичного відстеження сонячної енергії, навіть якщо ця енергія незначна [4].

Таблиця 1 – Оптимальний кут для сонячних панелей залежно від широти місцевості [4]

Широта місцевості	Кут нахилу
0-15 °	15 °
15-25 °	Кут нахилу рівний широті
25-30 °	+/- 5 ° до широти
30-35 °	+/- 10 ° до широти
35-40 °	+/- 15 ° до широти
Більше 40 °	+/- 20 ° до широти

Крім цього, через симетрію оптимальний кут нахилу буде вдень таким же, як і вранці, але орієнтований в протилежному напрямку, тобто на захід. Колектор, у якого встановлена сонячна панель на схід вранці та на захід ввечері, має оптимальний кут нахилу майже однаковий протягом року, тобто 36 - 39,4 °. Це перевага у порівнянні з колектором, встановленим на північ або південь. Для колектора, що виходить на північ, потрібне регулювання від 0 до 40 ° (12 березня - 30 вересня) і зміна орієнтації на південь з регулюванням кута від 0 до 30 ° (1 жовтня - 11 березня).

Отже, оптимальний кут нахилу для сонячного колектора, протягом 12 березня - 30 вересня змінюється між 0 – 40 ° (орієнтація на північ) і протягом 1 жовтня - 11 березня знаходиться між 0 – 30 ° (орієнтація на південь).

Іншим варіантом є встановлення двох колекторів, тобто одного, спрямованого на схід для використання вранці і одного - на захід ввечері. Оптимальний кут нахилу для цих колекторів становить 36 - 39,4°.

Використання цих кутів нахилу сонячної панелі демонструє ефективне управління витратами часу, енергії та коштів, необхідних для збору даних актинометричних величин, для отримання сонячної енергії, на основі якої створюється та оцінюється геліопотенціал, тобто потенціал сонячної енергії на певній території, у певному регіоні, державі, материках, континенту та на всій земній кулі в цілому і визначається придатність для розвитку геліоенергетики як одного з видів альтернативних джерел енергії та видів енергетики загалом на даних територіях [5].

Список посилань

1. Seyed Abbas Mousavi Maleki, H. Hizam and Chandima Gomes. Estimation of Hourly, Daily and Monthly Global Solar Radiation on Inclined Surfaces: Models Re-Visited / Centre of Advanced Power and Energy Research (CAPER), Universiti Putra Malaysia, 43400 Selangor, Malaysia – 22 January 2017.
2. Ramez Abdallah, Adel Juaidi, Salameh Abdel-Fattah and Francisco Manzano-Agugliaro. Estimating the Optimum Tilt Angles for South-Facing Surfaces in Palestine - 1 February 2020 [Internet] URL: <https://doi.org/10.3390/en13030623>.
3. Л.С. Рибченко, С.В. Савчук «Потенціал геліоенергетичних кліматичних ресурсів сонячної радіації в Україні». Український гідрометеорологічний інститут, Київ, 2015.
4. Idowu, O.S., Olarenwaju, O.M. & Ifedayo, O.I. Determination of optimum tilt angles for solar collectors in low-latitude tropical region. Int J Energy Environ Eng 4, 29 (2013). [Internet] URL: <https://link.springer.com/article/10.1186/2251-6832-4-29>.
5. Ekadewi A. Handoyo, Djatmiko Ichsan, Prabowo. The optimal tilt angle of a solar collector / Indonesian Institute of Sciences. Energy Procedia 32 (2013) 166 – 175. [Internet] URL: <https://www.sciencedirect.com/>