

М. П. КУЗИК, Т. І. РИМАР

ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ КУТІВ НАХИЛУ СОНЯЧНИХ ПАНЕЛЕЙ ДЛЯ ДОВІЛЬНИХ ЧАСОВИХ ІНТЕРВАЛІВ НА ТЕРИТОРІЇ УКРАЇНИ

Представлені результати визначення оптимальних кутів нахилу до горизонту плоских сонячних панелей з постійною орієнтацією на південь. Отримано аналітичний вираз, який описує залежність оптимальних кутів для часових інтервалів симетричних відносно 1 липня від їх тривалості в місяцях. Встановлені параметри цього виразу для кількох міст України. Запропоновано спосіб визначення (оцінки) оптимальних кутів нахилу для довільних часових інтервалів, окрім тих, що знаходяться в діапазоні листопад-лютий.

Ключові слова: сонячна радіація, сонячні колектори, оптимальні кути нахилу, часові інтервали.

М. П. КУЗЫК, Т. И. РЫМАРЬ

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ УГЛОВ НАКЛОНА СОЛНЕЧНЫХ ПАНЕЛЕЙ ДЛЯ ЛЮБОГО ВРЕМЕННОГО ИНТЕРВАЛА НА ТЕРРИТОРИИ УКРАИНЫ

Представлены результаты определения оптимальных углов наклона к горизонту плоских солнечных панелей с постоянной ориентацией на юг. Получено аналитическое выражение, описывающее зависимость оптимальных углов для временных интервалов симметричных относительно 1 июля от их продолжительности в месяцах. Установлены параметры этого выражения для нескольких городов Украины. Предложен способ определения (оценки) оптимальных углов наклона для произвольных временных интервалов, кроме тех, что находятся в диапазоне ноябрь-февраль.

Ключевые слова: солнечная радиация, солнечные коллекторы, оптимальные углы наклона, временные интервалы.

М. КУЗЫК, Т. РЫМАР

DETERMINATION OF OPTIMAL ANGLES OF SOLAR PANELS FOR SATISFIED TIME INTERVALS ON THE TERRITORY OF UKRAINE

The results of determining the optimal angles of inclination to the horizon of flat solar panels with a constant orientation to the south are presented. An analytical expression is obtained, which describes the dependence of the optimal angles for time intervals symmetric with respect to July 1 on their duration in months. The parameters of this expression are set for several cities of Ukraine. A method for determining (estimating) the optimal angles of inclination for arbitrary time intervals, except for those in the range of November-February. It was shown that for symmetric relatively summer (July 1) and relatively winter (January 1) intervals there is a certain functional relationship between the value of the optimal angle β_{opt} and the duration of intervals in months. For summer and winter months, these dependences are described by polynomials of the 2nd order, which makes it possible to determine β_{opt} for arbitrary time intervals of the mentioned symmetry.

Key words: solar radiation, solar collectors, optimal angles of inclination, time intervals.

Вступ

У середині ХХ-го століття з'явилися сонячні колектори та сонячні батареї – перші спеціальні пристрої для утилізації сонячного випромінювання шляхом його перетворення в теплову чи електроенергію. Їх виробництво зараз досягло бурхливого розвитку і вони є важливим фактором розвитку сучасної енергетики.

Ефективність сонячних енергетичних установок передусім визначається сумарним потоком прямої та дифузної радіації.

Для оптимального режиму роботи сонячних енергетичних пристроїв суттєве значення має їх орієнтація стосовно положення Сонця на небосхилі. Найбільш простий спосіб визначення фіксованого оптимального кута нахилу до горизонту β_{opt} за незмінної орієнтації панелей на південь полягає в прив'язці його до географічної широти φ місця розташування сонячного пристрою [1]. Ця прив'язка є неоднозначною і рекомендації з вибору кутів є різними. Початково і в значній мірі на сьогодні за незмінної орієнтації вибирають $\beta_{opt} \approx \varphi = \text{const}$. Проте такий підхід є частково доцільним тільки в випадку переважання прямої ра-

діації, що характерно для територій Землі з географічною широтою $\varphi \leq \pm 30^\circ$. У випадку врахування дифузної складової радіації користуються залежністю [2]

$$\beta_{opt} \approx (0,9 - 1,1) \varphi = \text{const}.$$

Зрозуміло, що незмінна орієнтація є найбільш зручним варіантом кріплення сонячної панелі. Оптимальний кут нахилу панелей, у випадку їх нестационарного розташування, визначають переважно для певних часових місячних інтервалів. Вибір цих інтервалів продиктований часто умовами використання і видом енергії (електрична, теплова), що надходить з панелей, а також режимом її споживання протягом року. Так, теплова енергія може використовуватись для гарячого водопостачання або для підтримки системи тепlopостачання в опалювальний сезон. Електрична енергія може використовуватись як безпосередньо так і в режимі акумулювання.

За двопозиційної орієнтації, яка часто використовується для зорієнтованих на південь панелей, літній і зимовий кути нахилу вибирають відповідно рівними $\beta_{зим} = \varphi + \Delta$ і $\beta_{літн} = \varphi - \Delta$, де Δ може бути рівним від 8 до 20° [1].

Особливо важливим є правильний вибір кута нахилу в літні місяці. Так, у червні–липні у випадку використання кута $\beta = \varphi$ замість оптимального для цього часового проміжку втрати сприйнятої панеллю енергії в м. Львові перевищують 10 %.

Мета роботи

Мета дослідження полягає в опрацюванні методології визначення оптимальних кутів нахилу зорієнтованих на південь плоских сонячних панелей на території України для довільних часових інтервалів.

Аналіз останніх публікацій та досліджень

Точний розрахунок характеристик сонячної радіації в довільно заданій географічній точці і віддаленій від актинометричних станцій точці практично неможливий і під час розрахунку мова може йти тільки про наближені моделі з емпіричними параметрами.

Найбільш складною для визначення є розсіяна радіація, оскільки вона безпосередньо залежить від розсіюючих властивостей атмосферних частинок і хмарного покриття, турбулентності атмосфери та інших факторів [1]. У всіх моделях основною проблемою є перерахунок дифузної радіації, визначеної для горизонтальної площини, в радіацію на похилій площині. Найбільш повний огляд моделей сонячної радіації, які розроблені до нашого часу, подані в роботах [3–5].

Сучасні зміни у кліматичній системі зумовлюють перебудову центрів дії атмосфери і спричиняють їх переміщення у просторі і часі та посилюють вплив на атмосферні процеси. Це стає причиною коливання у формуванні режиму хмарності, яка є одним із факторів, що визначає надходження радіації до робочої поверхні [6].

Нерівномірний розподіл хмарності, який особливо проявляється влітку через антициклональний тип погоди, зумовлює територіальні зміни сумарної радіації, які відмінні від широтних.

У цій ситуації доцільно визначити оптимальний кут нахилу на основі експериментально отриманих метеоданих, які усереднені за достатньо тривалий період, наприклад метеодані NASA. Для декількох міст України, для яких є метеодані в базі NASA, нами були проведені відповідні розрахунки з визначення оптимальних кутів нахилу площин сонячних плоских панелей для різних часових інтервалів.

Основний матеріал

Нами використовувались метеодані, зокрема для похилих площин, які подані в базі даних аерокосмічного агенства США NASA SSE (NASA

Surface meteorology and Solar Energy) [7]. Ці дані є результатом моделювання актинометричних величин, які отримані синтезом наземних актинометричних вимірювань і супутникових досліджень поверхні Землі протягом останнього 22-річного періоду. На цій базі розраховані стандарні актинометричні величини для наземної сітки $2,5^\circ \times 2,5^\circ$, які потім інтерпольовані на сітку розміром $1^\circ \times 1^\circ$.

Методика досліджень, у вигляді чисельного експерименту, полягає в побудові для кожного місяця графіків залежності надходження добової середньомісячної сумарної сонячної радіації від кута нахилу панелей до горизонту в діапазоні від 0 до 90° . В усіх випадках панель зорієнтована строго на південь. Для кожного місяця визначено оптимальний кут $\beta_{\text{опт.міс}}$. На підставі цього будувалися графіки залежності $\beta_{\text{опт.міс}}$ впродовж року. На рис. 1, як приклад, показано такий графік $\beta_{\text{опт.міс}}$ для м. Львова, який апроксимується поліномом 6-го порядку:

$$\beta_{\text{опт.міс}} = 68,8 - 4,32 \cdot n + 2,98 \cdot n^2 - 2,89 \cdot n^3 + 0,625 \cdot n^4 - 0,0502 \cdot n^5 - 0,00139 \cdot n^6, \quad (1)$$

де n – порядковий номер місяця року.

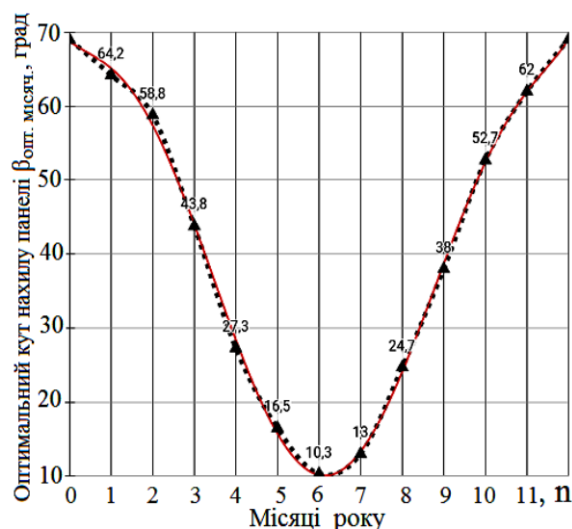


Рис. 1 – Залежність $\beta_{\text{опт.міс}}$ впродовж року для м. Львова

Надалі для кожного з кутів нахилу з інтервалом 10° визначено середньомісячні надходження радіації, на основі яких розраховані і побудовані графічні залежності сумарного надходження радіації від кута нахилу $E_{\text{прих}} = E_{\text{прих}}(\beta)$ протягом певного часового інтервалу: року, півроку, кварталу, зрештою для довільних часових інтервалів (в місяцях). На рис. 2 показані такі графіки для м. Львів. Використовуючи ці графіки аналітично (переважно з використанням поліномів 4-го порядку) або графічно визначені оптимальні річні кути: $\beta_{\text{опт.річне}}$ для фіксованої орієнтації панелі; $\beta_{\text{опт.літн}}$ – для радіа-

ційно-теплого періоду (квітень-вересень включно); $\beta_{\text{опт.зимов}}$ – для холодного півріччя, тощо. Для вказаних оптимальних кутів визначені відповідні максимальні надходження сонячної радіації $E_{\text{макс}}$. В табл. 1, на прикладі м. Львів, наведені значення оптимальних кутів $\beta_{\text{опт.}}$ і максимальне надходження радіації $E_{\text{макс}}$ для перерахованих вище, а також для інших часових інтервалів. Розглянемо ці величини більш детально.

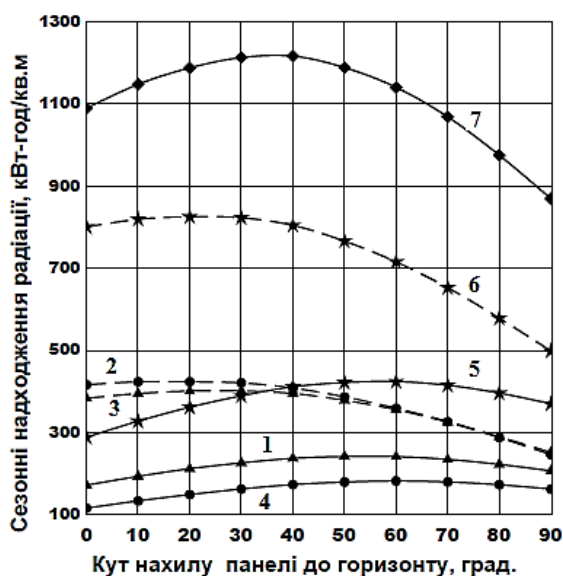


Рис. 2 – Залежність надходження сумарної радіації від кута нахилу панелі: 1 – 1 квартал; 2 – 2 квартал; 3 – 3 квартал; 4 – 4 квартал; 5 – зимове півріччя; 6 – літнє півріччя; 7 – рік

У рядках 1–3 табл. 1 наведені дані по оптимальних кутах нахилу та максимальному надходженню радіації $E_{\text{макс}}$ в літнє та зимове півріччя, а також сумарне річне надходження за такої двопозиційної орієнтації. У рядках 4–6 наведено аналогічні дані також для двопозиційної орієнтації, але за кутів β рівних $\varphi - 15^\circ$ і $\varphi + 15^\circ$ відповідно для літнього та зимового півріччя. Такі кути найчастіше рекомендуються для двопозиційної орієнтації. Різниця в річному надходженні радіації для двох розглянутих випадків двопозиційної орієнтації складає 13 кВт-год/м^2 , що є несуттєво.

В рядках 7–11 табл. 1 подано дані для чотирьохпозиційної (поквартальної) орієнтації, де, наприклад, $\beta_{\text{опт.3}}$ – оптимальний нахил панелі до горизонту в 3-ому кварталі. За такої орієнтації сумарне річне надходження радіації дещо зростає порівняно з двома вище розглянутими випадками.

Рядок 12 табл. 1 відповідає фіксованому положенню панелі протягом року з кутом нахилу, що дорівнює географічній широті її місця розташування. В рядку 13 наведено дані для фіксованого положення панелі за оптимального річного кута нахилу. Рядок 14 відповідає ситуації, коли кожен місяць встановлюється оптимальний для цього місяця кут нахилу панелі. Значення цих кутів можна визначити з графіку місячної залежності $\beta_{\text{опт.}}$ зразок якого подано на рис. 1.

Аналіз даних табл. 1 показує, що з усіх розглянутих нами варіантів, найбільш ефективною з точки зору отримання $E_{\text{макс}}$, є щомісячна зміна орієнтації, що є очевидно. Проте така щомісячна переорієнтація є незручною з огляду експлуатації. Найменша ефективність властива положенню панелі протягом року з кутом нахилу, що дорівнює географічній широті її місця розташування.

Таблиця 1 – Значення оптимальних кутів та максимального надходження радіації

№	Часовий період: квартал, (рік)	Кути нахилу, град	Максимальне надходження радіації, кВт-год/м ²
1	2 кв. – 3 кв.	$\beta = \beta_{\text{опт.літн.}} = 23^\circ$	826
2	4 кв. – 1 кв.	$\beta = \beta_{\text{опт.зим.}} = 58^\circ$	424
3	(2 кв. – 3 кв.) + (4 кв. – 1 кв.) = рік	$\beta_{\text{опт.літн.}} = 23^\circ$ $\beta_{\text{опт.зим.}} = 58^\circ$	1250
4	2 кв. – 3 кв.	$\beta = \varphi - 15^\circ = 35^\circ$	817
5	4 кв. – 1 кв.	$\beta = \varphi + 15^\circ = 65^\circ$	420
6	(2 кв. – 3 кв.) + (4 кв. – 1 кв.) = рік	$\beta_{\text{літн.}} = \varphi - 15^\circ = 35^\circ$ $\beta_{\text{зим.}} = \varphi + 15^\circ = 65^\circ$	1237
7	1 кв.	$\beta = \beta_{\text{опт.1}} = 55^\circ$	242
8	2 кв.	$\beta = \beta_{\text{опт.2}} = 18^\circ$	424
9	3 кв.	$\beta = \beta_{\text{опт.3}} = 26^\circ$	403
10	4 кв.	$\beta = \beta_{\text{опт.4}} = 60^\circ$	183
11	1 кв. + 2 кв. + 3 кв. + 4 кв. = рік	$\beta_{\text{опт.1}}; \beta_{\text{опт.2}};$ $\beta_{\text{опт.3}}; \beta_{\text{опт.4}}$	1252
12	рік	$\beta = \varphi = 50^\circ$	1188
13	рік	$\beta = \beta_{\text{опт.річн.}} = 36^\circ$	1220
14	рік	$\beta_{\text{опт.міс.}}$	1256

Відомо, що найбільше надходження енергії на сонячні панелі можна отримати за безперервного відстеження положення Сонця. Для цього використовують трекерні пристрої, які забезпечують 25 %–35 % збільшення надходження радіації на панель. Його основним елементом є фотоелектричний блок, який дає можливість автоматично орієнтувати панель під кут 90° до напрямку сонячних променів і відстежувати положення Сонця. Проте навіть з врахуванням очевидного економічного ефекту ці пристрої є достатньо дорогі і споживають електроенергію.

Варто зауважити, що наведені в базі метеоданих NASA значення добового середньомісячного або місячного надходження сумарної радіації на горизонтальні чи вертикальні, а тим більше похилі площини (для них дані обмаль) часто можуть суттєво відрізнятися від даних інших баз, довідників, стандартів [8, 9], що пов'язано з різною методологією досліджень, використанням, як уже згадувалося, різних наближених моделей.

Основною задачею нашого дослідження є визначення кутових величин. Для оцінки впливу неоднозначності величин сумарної радіації на значення оптимальних кутів нахилу панелей нами були використані результати роботи [10], яка була виконана в Інституті прикладної фізики АН Молдови (м. Кишинів). За допомогою багатofункціонального радіометричного вимірювального комплексу, всі датчики сонячної радіації якого та інші елементи сертифіковані відповідно до вимог Всесвітньої метеорологічної організації, були визначені середньомісячні суми повної радіації, що падає на нахилені поверхні панелей. Кут нахилу змінювався від 0 до 90° завдяки рухомій платформі з датчиками. На основі отриманих даних були визначені $\beta_{\text{опт.літнє}}$, $\beta_{\text{опт.зим.}}$ та $\beta_{\text{опт.річне}}$.

Нами на базі метеоданих NASA по процедурі використаній для розрахунків $\beta_{\text{опт}}$ для м. Львів були визначені кути, які відрізняються від наведених в [10] відповідних кутів не більше $\pm 1^\circ$. Молдова, центр та південь України знаходяться в одній кліматичній зоні. Таке узгодження дає можливість нам використовувати саме метеодані NASA. Таким чином, є підстави використовувати саме ці дані для визначення оптимальних кутів нахилу сонячних панелей на території України. Однак, варто зазначити, що метеодані [10] про сонячну радіацію, падаючу на горизонтальну поверхню, відчутно відрізняються від відповідних наведених в [7].

Обговорення результатів

Очевидно часових інтервалів, в місяцях, протягом року, можна виділити багато. Насамперед практичний інтерес представляє радіаційно-теплий період року (квітень-вересень), на який припадає більше 70 % падаючої на горизон-

тальну поверхню сонячної радіації. Як видно з табл. 1 сумарні радіації за другий квартал і за третій квартал відрізняються, у випадку використання оптимальних кутів $\beta_{\text{опт.2}}$ і $\beta = \beta_{\text{опт.3}}$, не більше 6 %. Це дає можливість розглянути насамперед часові інтервали, які симетричні відносно 1 липня (і 1 січня), що досить близько до літнього сонцестояння 22 червня.

Визначались $\beta_{\text{опт.}}$ для літніх інтервалів червень–липень, травень–серпень, квітень–вересень, тощо. Як зимові інтервали, симетричні відносно 1 січня, розглядалися грудень–січень, листопад–лютий, тощо. Ці інтервали нумерувались кількістю місяців, які в них входять. Так, інтервал травень–серпень має номер $m = 4$, грудень–січень фігурує під номером $m = 2$. Рік має номер $m = 12$. Використовуючи отримані значення $\beta_{\text{опт.}}$ для різних літніх та зимових інтервалів були побудовані графіки $\beta_{\text{опт.}} = \beta_{\text{опт.}}(m)$ для цих інтервалів. На рис. 3, як приклад, наведені такі графіки для м. Львів. Верхня крива (крива 2) відповідає зимовим інтервалам різної тривалості, нижня (крива 1) – літнім. Залежності $\beta_{\text{опт.}} = \beta_{\text{опт.}}(m)$ добре описуються поліномами 2-го порядку:

$$\beta_{\text{опт.}}(m) = a + b \cdot m + c \cdot m^2. \quad (2)$$

Точка для $m = 12$ (річний інтервал) є спільною для літнього та зимового інтервалів і складає $\beta_{\text{опт.річне}} = 36^\circ$ для Львова.

В табл. 2 для п'яти міст України, розташованих в різних кліматичних зонах, наведені коефіцієнти a , b і c згаданих поліномів, які дають можливість для цих міст розрахувати $\beta_{\text{опт.літнє}}$ і $\beta_{\text{опт.зим.}}$ для будь яких часових інтервалів симетричних відносно 1 червня (1 січня). Точки позначені символом \blacktriangle на рис. 3 були отримані шляхом використання даних з графіку річної залежності $\beta_{\text{опт.міс.}}$ на рис. 1 наступним чином. Оптимальні кути $\beta_{\text{опт.міс.}}$ для всіх місяців, які включені в конкретний часовий інтервал, сумувались і знаходили їх середнє арифметичне значення $\beta_{\text{опт.середнє}}$ для цього інтервалу, яке і подано на графіку для конкретного m . Спостерігається добре узгодження значень $\beta_{\text{опт.}}$ і $\beta_{\text{опт.середнє}}$ в діапазоні зміни m від 3 до 8 як для літніх так і для зимових інтервалів.

Вказаний підхід у визначенні $\beta_{\text{опт.середнє}}$ і порівнянні його з $\beta_{\text{опт.}}$, отриманий аналізом залежності сумарного надходження радіації протягом певного часового інтервалу $E_{\text{прих}} = E_{\text{прих}}(\beta)$ від кута нахилу був використаний для довільних часових інтервалів.

На рис. 4 наведено попарно значення $\beta_{\text{опт.}}$ і $\beta_{\text{опт.середнє}}$ (пунктирні лінії) для деяких часових інтервалів для м. Львова.

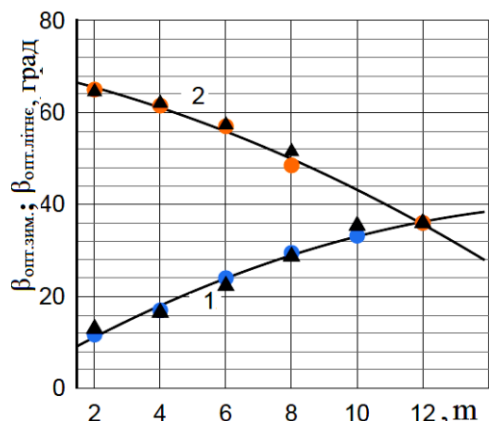


Рис. 3 – Залежність оптимальних кутів від тривалості t симетричних стосовно 1 липня часових інтервалів: \blacktriangle – $\beta_{\text{опт.середнє}}$; крива 1 – відповідає зимовим інтервалам різної тривалості; крива 2 – літнім інтервалам різної тривалості

Таблиця 2 – Коефіцієнти поліномів у рівнянні (2)

Місто	Сезон	a	b	c
Чернігів	Літо	4,4	3,93	-0,0988
	Зима	71,9	-1,82	-0,0886
Чернівці	Літо	2,2	4	-0,109
	Зима	69,6	-2,16	-0,0631
Запоріжжя	Літо	2,45	4,04	-0,112
	Зима	65,9	-0,99	-0,137
Миколаїв	Літо	-1,15	4,41	-0,132
	Зима	68,1	-1,93	-0,0929
Одеса	Літо	-2,15	5,15	-0,185
	Зима	61,8	-0,50	-0,158
Львів	Літо	3,79	3,88	-0,0969
	Зима	69,1	-1,62	-0,098

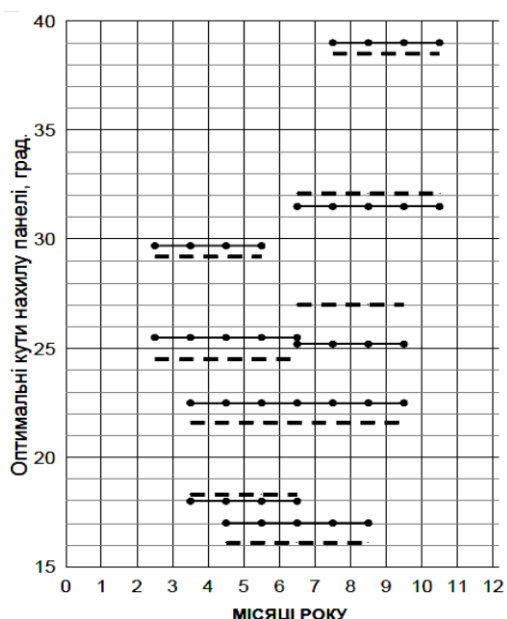


Рис. 4 – Значення оптимальних кутів для часових інтервалів: $\text{—}\bullet\text{—}$ – $\beta_{\text{опт.}}$; $\text{---}\blacksquare\text{---}$ – $\beta_{\text{опт.середнє}}$

Різниця між ними не перевищує $\pm 2^\circ$, що дає можливість стверджувати про доцільність визначення $\beta_{\text{опт}} \approx \beta_{\text{опт.середнє}}$ описаним вище способом для довільних часових інтервалів, окрім тих, що знаходяться в діапазоні листопад-лютий.

Висновки

Використання метеоданих NASA щодо надходження радіації на підстильну поверхню території України дало можливість встановити оптимальні кути нахилу орієнтованих на південь панелей плоских сонячних пристроїв до горизонту для певних часових інтервалів. Це має насамперед практичний інтерес з точки зору раціонального використання панелей протягом року.

Було показано, що для симетричних відносно літніх (1 липня) і відносно зимових (1 січня) інтервалів існує певна функціональна залежність між значенням оптимального кута $\beta_{\text{опт.}}$ і тривалістю інтервалів в місяцях. Для літніх та зимових місяців ці залежності описуються поліномами 2-ого порядку, що дає можливість визначати $\beta_{\text{опт.}}$ для довільних часових інтервалів згаданої симетрії. Для деяких міст України, які знаходяться в різних кліматичних зонах, наведені значення коефіцієнтів поліномів.

Запропонована методика визначення $\beta_{\text{опт.середнє}}$ для довільних часових інтервалів, крім інтервалів з діапазону листопад-лютий. Методика базується на використанні даних про оптимальні місячні кути $\beta_{\text{опт.міс.}}$ місяців, які входять в ці часові інтервали. У цьому випадку визначалось $\beta_{\text{опт.середнє}}$ як середнє арифметичне $\beta_{\text{опт.міс.}}$ місяців, які входять в цей часовий інтервал. Похибка визначення $\beta_{\text{опт}} \approx \beta_{\text{опт.середнє}}$ не перевищує $\pm 2^\circ$.

Таким чином, за наявності $\beta_{\text{опт.міс.}}$ можна відносно просто визначати оптимальний кут нахилу панелі для будь якого часового інтервалу з радіаційно-теплого періоду року.

Список літератури

1. Гаевский А. Ю., Ушкаленко О. В. Определение оптимальных углов наклона фотоэлектрических панелей. *Відновлювальна енергетика*. 2016. № 1. С. 21–27.
2. Виссарионов В. И. [и др.] *Солнечная энергетика* : учебное пособие. Москва: МЭИ, 2008. 320 с.
3. Noorian A. M., Moradi I., Kamali G. A. Evaluation of 12 Modes to Estimate Hourly Diffuse Irradiation on Inclined Surfaces. *Renewable Energy*. 2008. no. 33(6). P. 1406–1412.
4. Jakhriani A. O., Othman A., Rigit A. R. H. et al. Estimation of Incident Solar Radiation on Tilted Surface by Different Empirical Models. *Int. Journ. Sci. Research Publications*. 2012. Vol. 2. Issue 12. ISSN 2250-3153.
5. Страшко В. В. Методика і програма розрахунку надходження сонячної радіації на довільно орієнтовану площину. *Проблеми загальної енергетики*. 2005. № 12/2005. С. 65–68.
6. Рибченко Л. С., Ревера Т. О. Сумарна сонячна радіація та альbedo підстильної поверхні в Україні. *Наук. праці УкрНДГМІ*. 2007. Вип. 256. С. 99–111.

7. Джерело бази метеоданих NASA. Режим доступу: <https://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/grid.cgi?email=skip@larc.nasa.gov> (дата звернення: 21.10.2020)
8. Справочник по климату СССР. Украинская ССР. Часть I. Солнечная радиация, радиационный баланс и солнечное сияние. Ленинград: Гидрометеорологическое изд. 1966. 126 с.
9. Будівельна кліматологія. ДСТУ-НБВ.1.1-27:2010. Київ: Мінрегіонбуд, 2011. 123 с.
10. Акулинин А., Смыков В. Оценка возможностей солнечной энергетики на основе точных наземных измерений солнечной радиации. Проблемы региональной энергетики. 2008. № 1. С. 29–39.
5. Strashko V. V. (2005), “Metodyka i programa rozrachunku nadkhodzhennya sonyachnoyi radiaciyi na dovilno oriyentovanu ploshhynu [Methodology and program for calculating the inflow of solar radiation to an arbitrarily oriented plane]”, *Problemy zagalnoyi energetyky [Problems of general energy]*, no. 12, pp. 65–68.
6. Rybchenko L. S., Revera T. O. (2007), “Sumarna sonyachna radiaciya ta albedo pidstylnoyi poverxni v Ukraini [Total solar radiation and albedo of the underlying surface in Ukraine]”, *Nauk. praci UkrNDGMI [Scientific work UkrNDGMI]*, vol. 256, pp. 99–111.
7. Source of NASA meteorological database, Access mode: <https://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/grid.cgi?email=skip@larc.nasa.gov> (accessed 23 October 2020).
8. (1966), *Spravochnik po klimatu SSSR. Ukrainskaja SSR. Chast I. Solnechnaja radiacija, radiacionnyj balans i solnechnoe sijanie [Reference book on the climate of the USSR. Ukrainian SSR. Part I. Solar radiation, radiation balance and sunshine]*, Gidrometeorologicheskoe, Leningrad, 126 p.
9. (2011), *Budivelna klimatologiya [Construction climatology]. DSTU-NBV.1.1-27: 2010*, Ministry of Regional Development, Kyiv, 123 p.
10. Akulinin A., Smykov V. (2008), “Ocenka vozmozhnostej solnechnoj jenergetiki na osnove tochnyh nazemnyh izmerenij solnechnoj radiacii [Assessment of solar energy capabilities based on accurate ground-based measurements of solar radiation]”, *Problemy regionalnoj jenergetiki [Regional energy problems]*, no. 1, pp. 29–39.

References (transliterated)

1. Gaevskij A. Ju., Ushkalenko O. V. (2016), “*Opredelenie optimalnyh uglov naklona fotoelektricheskikh panelej [Determination of optimal angles of inclination of photovoltaic panels]*”, *Vidnovljувalna energetika [Renewable energy]*, no. 1, pp. 21–27.
2. Vissarionov V. I. (2008), *Solnechnaja jenergetika [Solar energy]*, Moscow, Russia, MEI.
3. Noorian A. M., Moradi I., Kamali G. A. (2008), “Evaluation of 12 Modes to Estimate Hourly Diffuse Irradiation on Inclined Surfaces”, *Renewable Energy*, vol. 33(6), pp. 1406–1412.
4. Jakhрани A. O., Othman A., Rigit A.R.H. et al. (2012), “Estimation of Incident Solar Radiation on Tilted Surface by Different Empirical Models”, *Int. Journ. Sci. Research Publications*, vol. 2, issue 12, ISSN 2250-3153.

Надійшла (received) 12.02.2021

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Кузык Мирон Петрович (Кузык Мирон Петрович, Кузык Myron) – кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри теплоенергетики, теплових та атомних електричних станцій, Національний університет «Львівська політехніка»; м. Львів, Україна; e-mail: Myron.P.Kuzyk@lpnu.ua, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4947-0970>.

Римар Тетяна Іванівна (Рымарь Татьяна Ивановна, Rymar Tetiana) – кандидат технічних наук, доцент кафедри теплоенергетики, теплових та атомних електричних станцій, Національний університет «Львівська політехніка»; м. Львів, Україна; e-mail: Tetiana.I.Rymar@lpnu.ua, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7662-2063>.