

УДК 662.987:697.7

В.В. СТРАШКО (Товариство з обмеженою відповідальністю "Інсолар ЮСВ", Дніпропетровськ)

МЕТОДИКА І ПРОГРАМА РОЗРАХУНКУ НАДХОДЖЕННЯ СОНЯЧНОЇ РАДІАЦІЇ НА ДОВІЛЬНО ОРІЄНТОВАНУ ПЛОЩИНУ

Для умов України розроблено методику розрахунку сумарної сонячної радіації, що надходить на довільно орієнтовану площину. Розраховано надходження сумарної сонячної радіації на 15-те число кожного місяця за безхмарного неба та з урахуванням хмарності. Результати розрахунку скориговано з даними БНіП. Для прикладного використання методику оформлено в програмі Microsoft Excel.

Сонячна енергія використовується людством здавна. В середині ХХ століття з'явилися сонячні колектори та сонячні батареї – перші спеціальні пристрої, що утилізували сонячне випромінювання, перетворюючи його на тепло чи електричну енергію. Їх виробництво донедавна розвивалось з перемінним успіхом і лише зараз досягло бурхливого розвитку.

Розрахунки таких геліосистем для більшості випадків базувались на умові, що їх сонцесприймальні панелі встановлювались по можливості нерухомо, під оптимальним кутом до горизонту, та були орієнтовані на південь. Водночас в дуже обмеженій кількості та за унікальними проектами будувались так звані "сонячні будинки". І лише недавно з'явилися технології та технічні рішення [1], які забезпечують можливість використання енергії сонячного випромінювання для потреб гарячого водопостачання, опалення, вентиляції та кондиціонування, дозволяють широкомасштабне застосування енергоактивних огорожувальних конструкцій (дахів, стін) у найрізноманітнішому архітектурному вирішенні. При цьому існує можливість комбінованого використання рідинного і повітряного теплоносіїв, акумуляторних можливостей (зі зміною агрегатного стану теплоакumuлюючої речовини).

Прикладом може служити геліопрофіль ТЕПС, конструктивний (будівельний) елемент, який монтується безпосередньо на каркас споруди і формує її стіни та дах, перетворюючи їх на енергоактивні (виробник ТОВ "Інсолар ЮСВ", Дніпропетровськ, www.teps.biz) [2]. Оскільки положення у просторі таких енергоактивних поверхонь може бути найрізноманітнішим, постає потреба оцінки кількості сонячної енергії, що надходить на довільно орієнтовану площину в заданий проміжок часу (день, місяць, рік). З огляду на це виникла необхідність розробки математичного та програмного інструментів розрахунку надходження сонячної радіації на довільно орієнтовану площину.

Обсяги надходження сонячної енергії на поверхню залежать від її орієнтації у просторі, місця розташування та кліматичних умов, дня року. Дані багаторічних метеорологічних спостережень систематизовано у [3], де наведено дані середньомісячного надходження сумарної сонячної енергії за безхмарного неба на горизонтальну та вертикальні поверхні в діапазоні географічних широт (44-52) півн.ш. Вертикальні поверхні мають вісім значень азимутальної орієнтації: південь, південь-захід, захід, північ-захід, північ, північ-схід, схід і південь-схід. Також у [3] наведено середньомісячні дані коефіцієнта сонячного сяяння для обласних центрів України та Києва. Для оцінки надходження сонячної енергії на довільно орієнтовану площину цих даних явно недостатньо, хоча їх і буде використано при подальшій корекції розрахунків на базі аналітичних методів.

Аналітичний розрахунок

У [4] запропоновано аналітичний апарат для розрахунку значення миттєвого надходження сонячного випромінювання на довільно орієнтовану площину. В загальному вигляді сонячна енергія, що надходить, має три складові: пряму, дифузійну та відбиту – і може бути розрахована за формулою:

$$E_n = E \cdot \left[(1 - \psi_{dif}) \cdot \cos j + \psi_{dif} \cdot \frac{1 + \cos \beta}{2} + r_a \cdot \frac{1 - \cos \beta}{2} \right] \quad (1)$$

де E_n – інтенсивність сонячної радіації, що падає на похилу поверхню, Вт/м²; E – інтенсивність сонячної радіації, Вт/м²; ψ_{dif} – частка дифузійного випромінювання в сумарній сонячній радіації; j – кут між променем сонця і нормаллю до поверхні; β – кут нахилу поверхні до горизонту; r_a – альbedo землі.

Вважається, що в межах України частка дифузійного випромінювання ψ_{dif} за ясного неба мало залежить від широти, отже її значення може дорівнювати 0,3 у зимові місяці та – 0,21 у інші. Враховуючи те, що частка дифузійного випромінювання

нювання за різної хмарності є доволі невизначеною, можна, як рекомендовано в [4], обчислювати потужність сонячної радіації для безхмарного неба, а вплив прозорості атмосфери і хмарність враховувати за допомогою коефіцієнта сонячного сяяння ψ_{cc} . На значення альbedo r_a суттєво впливає характер поверхні місцевості, наявність піску, трави тощо, а також тривалість та якість снігового покриву. Для теплотехнічних розрахунків, як і в [4], вважаємо, що числове значення альbedo дорівнює 0,2 влітку та 0,7 взимку.

Головним чинником, що впливає на добове надходження сонячної радіації на поверхню, є закономірність зміни кута між променями сонця і нормаллю до поверхні j . В [4] наведено аналітичну залежність цього кута від нахилу сонця Δ , широти місцевості φ , азимутів сонця A і поверхні A_n , кута нахилу поверхні до горизонту β :

$$\begin{aligned} \cos j = & \sin \Delta \cdot \sin \varphi \cdot \cos \beta - \sin \Delta \cdot \cos \varphi \cdot \sin \beta \cdot \cos A_n + \\ & + \cos \Delta \cdot \cos \varphi \cdot \cos \beta \cdot \cos A + \cos \Delta \cdot \sin \varphi \cdot \sin \beta \cdot \cos A_n \cdot \cos A + \\ & + \cos \Delta \cdot \sin \beta \cdot \sin A_n \cdot \sin A. \end{aligned} \quad (2)$$

У [4] наведено формулу обчислення нахилу сонця Δ :

$$\Delta = 23,45 \cdot \left[(284 + m_d) \cdot \frac{360}{365} \right], \quad (3)$$

де m_d – порядковий номер дня року.

Миттєве значення коефіцієнта перерахунку R_{mut} інтенсивності прямого сонячного випромінювання, що падає на похилу поверхню від сонячного випромінювання, що падає на горизонтальну поверхню, може визначатися як

$$R_{mut} = \frac{\cos j}{\cos j_{gp}}. \quad (4)$$

де j_{gp} – кут між променем сонця і нормаллю до горизонтальної поверхні.

Для теплотехнічних розрахунків бажано знати коефіцієнт перерахунку R сумарної добової кількості сонячної енергії, що потрапила на похилу поверхню, до сумарної добової кількості сонячної енергії, що потрапила на горизонтальну поверхню. Коефіцієнт R розраховується за допомогою комп'ютерної програми [5] з урахуванням умов одночасного знаходження сонця над місцевим горизонтом і над поверхнею площини похилої поверхні. Дискретність розрахунку за азимутом сонця A становить 2° .

Таким чином, середньодобовий коефіцієнт перерахунку кількості прямої сонячної енергії, що надходить на похилу площину, до кількості сумарної сонячної енергії, що надходить на гори-

зонтальну поверхню (за безхмарного неба), розраховується за формулою:

$$R = \frac{\sum \cos j}{\sum \cos j_{gp}}. \quad (5)$$

Відповідно, середньодобовий коефіцієнт перерахунку кількості сумарної сонячної енергії розраховується за формулою:

$$K = (1 - \psi_{diff}) \cdot R + \psi_{diff} \cdot \frac{1 + \cos \beta}{2} + r_a \cdot \frac{1 - \cos \beta}{2}. \quad (6)$$

На рис. 1 зображено графік залежності розрахункових значень K від азимута вертикальної поверхні A_n для січня та липня. На цьому ж графіку зображено відповідні значення K' , отримані шляхом перерахунку даних середньомісячного надходження сумарної сонячної енергії за безхмарного неба на вертикальні поверхні, наведені у [3]. Розрахунки здійснено для $\varphi = 48^\circ$ півн.ш.

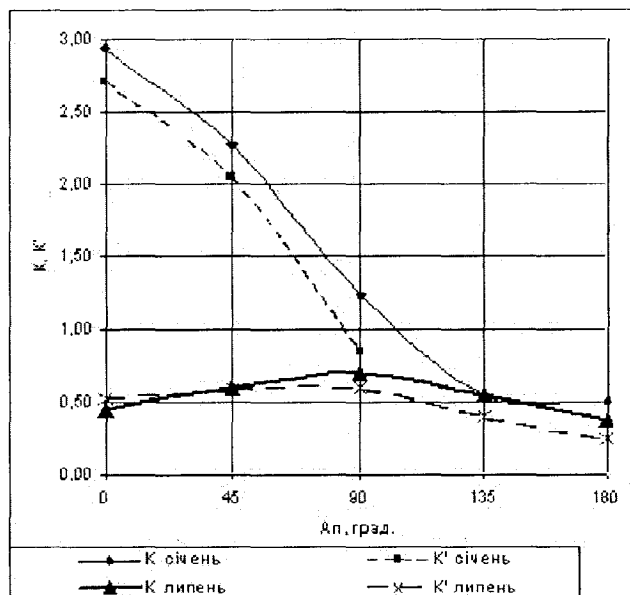


Рис. 1

Коригування за нормованими значеннями

Аналіз графіків свідчить про наявність розбіжностей (до 35%) між розрахунковими даними (відповідно до формули (6)) і нормованими (відповідно до [3]). Для уникнення цих розбіжностей і приведення розрахункових значень до нормованих запропоновано використовувати в розрахунках коефіцієнт K_{real} . Для його розрахунку використовується азимутальний коефіцієнт K_a , який є відношенням K' вертикальної поверхні азимутом A_n до $K'_{(90)}$ – коефіцієнта перерахунку кількості сумарної сонячної енергії, що падає на вертикальну поверхню південної орієнтації. В комп'ютерній програмі [5] реалізовано механізм інтерполяції K' функцією 2-го порядку з подаль-

шим формуванням ряду значень K' відповідно до значень азимуту A_n вертикальної поверхні з кроком 15° . Зазначені ряди було сформовано для широт місцевості $\varphi = 44, 48$ та 52° півн.ш. Надалі реалізовано механізм лінійної інтерполяції значень K' спочатку за азимутом поверхні A_n , а потім – за широтою місцевості φ . Значення $K'_{(10)}$ визначались лінійною інтерполяцією за широтою місцевості φ .

Для розрахунку значень K_{real} для різних кутів нахилу площини β вводимо вагову корекцію його значень залежно від β . Застосовується лінійна залежність. На рис. 2 і 3 представлено графіки K і K_{real} для різних значень азимуту поверхні A_n залежно від кута нахилу площини до горизонту β для січня та липня відповідно ($\varphi = 48^\circ$ півн.ш.).

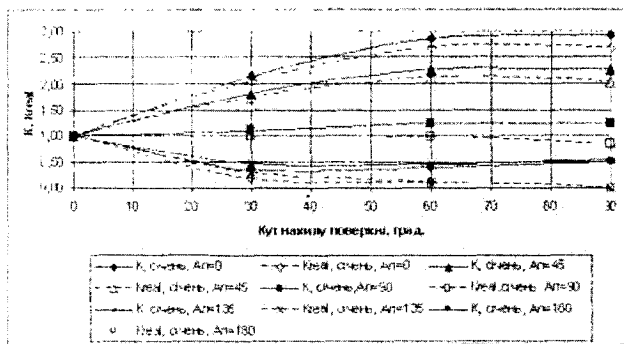


Рис. 2

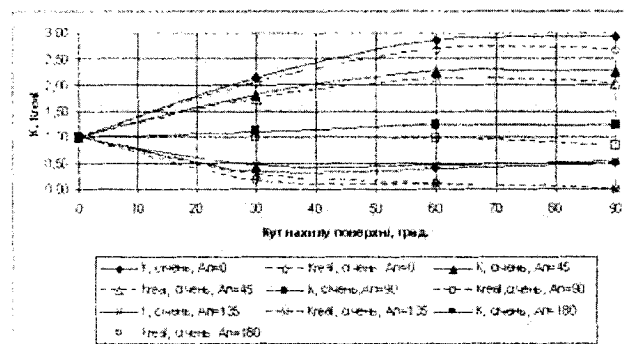


Рис. 3

Розрахований середньодобовий коефіцієнт перерахунку кількості сумарної сонячної енергії K для довільно орієнтованої площини дозволяє, знаючи кількість сумарної сонячної енергії, що надходить на горизонтальну поверхню та коефіцієнт сонячного сяяння ψ_{cc} , розраховувати теплотехнічні характеристики енергоактивних огорожувальних конструкцій незалежно від їх просторової орієнтації. Для отримання кінцевого результату було проведено лінійну апроксимацію залежності значень сумарної сонячної

енергії, що надходить на горизонтальну поверхню за безхмарного неба від широти φ . Графіки, що свідчать про практичне співпадання нормованої кривої та лінійної апроксимації, наведено на рис. 4.

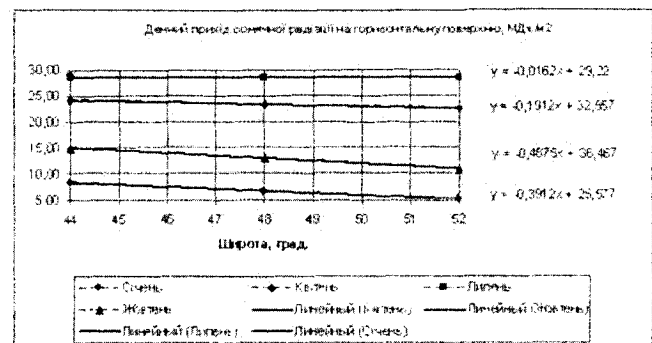


Рис. 4

Комп'ютерна програма

Наведену вище методологію було оформлено у вигляді комп'ютерної програми "Інсоляція – Україна" [5], яку реалізовано засобами Microsoft Excel.

У програмі вводяться такі вхідні дані:

- широта місцевості φ , коректний діапазон – $(44-52)^\circ$ півн.ш.
- кут нахилу поверхні до горизонту β , коректний діапазон – $(0-90)^\circ$.
- азимут поверхні від напрямку на південь A_n , коректний діапазон – $(-180\pm 180)^\circ$;
- коефіцієнт сонячного сяяння для кожного місяця ψ_{cc} , коректний діапазон – $(0-1)$.

Програма має базу даних за широтою місцевості φ та помісячним коефіцієнтом сонячного сяяння для ψ_{cc} для обласних центрів України.

Результатами розрахунку є:

- сумарна денна сонячна радіація за безхмарного неба в $\text{МДж}/\text{м}^2$ та $\text{кВт}\cdot\text{г}/\text{м}^2$ (помісячно);
- сумарна місячна сонячна радіація за безхмарного неба в $\text{МДж}/\text{м}^2$ (помісячно та за рік);
- сумарна місячна сонячна радіація з урахуванням хмарності в $\text{МДж}/\text{м}^2$ (помісячно, за рік і за опалювальний сезон);
- середня потужність сонячної радіації в $\text{Вт}/\text{м}^2$ (помісячно та за рік);
- середня потужність сонячної радіації при прямому сонці в $\text{Вт}/\text{м}^2$ (помісячно та за рік);
- гістограма відносної сумарної сонячної радіації за безхмарного неба та з урахуванням хмарності (помісячно);
- денна відносна лінійна діаграма прямої сонячної радіації (погодинна на 15-е число кожного місяця).

В програмі введено дві сигнальні функції:
– некоректність задання вхідних даних – "Н/К !!!";
– показник корекції по БніП – "СНиП" чи "б/к".
Об'єм програми становить 397 КВ.
Наведені вище методика і програма розрахунку надходження сонячної радіації на довільно орієнтовану площину, дозволяють отримувати результати, достатні для оцінки надходження сонячного тепла на поверхню різних будівельних і технічних об'єктів, необхідні для проектування їхніх систем енергозабезпечення, в тому числі з використанням енергоактивних огорожувальних конструкцій та відновлюваних джерел енергії.

ентовану площину, дозволяють отримувати результати, достатні для оцінки надходження сонячного тепла на поверхню різних будівельних і технічних об'єктів, необхідні для проектування їхніх систем енергозабезпечення, в тому числі з використанням енергоактивних огорожувальних конструкцій та відновлюваних джерел енергії.

1. Пат. 65474А Україна, МКІ F24J2/24, E04D1/24, E04D1/30, E04D13/18, E04E04C2/30, F16S1/12, F28F3/12. Сонячний колектор / В.В.Страшко (Україна), В.Ю.Подлєпич (Росія), Д.В.Безнощенко (Україна)/ Заявл. 05.08.2003; Опубл. 15.03.2004; Бюл. № 3.

2. V. Podlepich, D. Beznoshchenko, V. Strashko, I. Stacenko, A. Denisova. Modern architectural and innovative building solution – "TEPS" // Proc. International Conference World Sustainable Energy Day 2005. – Wels (Austria), 3 – 5 March, 2005. – С. 275.

3. СНиП 2.01.01-82. Строительная климатология и геофизика. – М.: Стройиздат, 1986. – 136 с.

4. Теплові розрахунки геліосистем / Сиворакаша В.Ю., Марков В.Л., Петров Б.Є. та ін. Моногр. – Д.: Вид-во Дніпропетр. ун-ту, 2003. – 123 с.

5. "Изоляция – Украина". Программа для расчёта суммарной солнечной радиации, поступающей на произвольно-ориентированную наклонную поверхность в условиях Украины. /© Страшко В.В. 2004 – 2005.