

УДК 662.997

І.І. Пуховий, Є.В. Новаківський

## КОЕФІЦІЄНТИ ОРІЄНТАЦІЇ СОНЯЧНИХ КОЛЕКТОРІВ ВІДНОСНО ПІВДЕННОГО НАПРЯМКУ ЗАЛЕЖНО ВІД ЇХ КУТІВ НАХИЛУ Й АЗИМУТУ ДЛЯ УМОВ УКРАЇНИ

Based on the statistical data on the climate in Ukraine collected from both local and foreign sources, we determine coefficients of southward orientation of solar collectors. They are used at the dependence that considers the stream of solar radiation in clear sky, overcast expressed through power factors and coefficient of efficiency of flat solar collectors or passive systems of solar heating. In addition, we define that in summer more energy can be generated at the southern orientation and slope angles of about 30 degrees. More energy can be generated at the eastern (and western) and south-eastern (south-western) orientations at slope angles to horizon of about 90 and 60 degrees. Orientation coefficients for these slope angles can reach 1,25 in summer. Slope angles of solar collectors are not significant in winter because of cloudy sky, azimuth has a greater impact in winter.

### Вступ

Сонячна енергія є реальною альтернативою викопному паливу, особливо влітку. Окупність сонячних систем зростатиме з кожним роком синхронно з підвищенням ціни на газ, електроенергію тощо. Для розрахунків продуктивності сонячних установок гарячого водопостачання (ГВП) активних чи пасивних систем сонячного опалення потрібно знати реальні значення одержаної кількості енергії за середньостатистичний день кожного місяця із врахуванням хмарності та розсіяного випромінювання залежно від розташування колекторів на будівлі відносно південного напрямку, нахилу даху чи сонячних колекторів, які встановлені нерухомо.

У працях [1, 2] розроблено методику інженерного розрахунку пасивних систем сонячного опалення з вертикальним розміщенням приймачів сонячної енергії, яка використовує максимальні значення накопиченої за день сонячної енергії  $E_m$ . Для розрахунку кількості енергії  $E$ , яку можна отримати колекторами площею  $F$  за середньомісячний день, в [2] використана така залежність:

$$E = E_m \cdot e \cdot K_o \cdot K_z \cdot \eta_{СК} \cdot F, \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{день}, \quad (1)$$

де  $\eta_{СК} = 0,3-0,4$  ККД для пасивних систем опалення взимку та міжсезоння (осінь, весна), та  $0,45-0,6$  для систем ГВП відповідно залежно від типу плоского сонячного колектора. Затінення колекторів сусідніми предметами враховується коефіцієнтом затінення  $K_z$ , а хмарність енергетичним коефіцієнтом  $e$ . У формулі (1) величина  $K_o$  враховує орієнтацію колекто-

ра відносно південного напрямку. Ця формула може бути використана і для рідинних колекторів при наявних значеннях  $E_m$ , які залежать від географічної широти та місяця року.

У [3] на основі значного масиву інформації знайдено енергетичні коефіцієнти  $e$ , що враховують хмарність і розсіяне випромінювання для різних міст, які являють собою різні кліматично-географічні зони України.

У [4, 5] проведено детальні дослідження так званої дельта-системи, коли колектори орієнтують не на південь, а з відхиленням на захід і схід. Це дає змогу отримати більше енергії у ранкові та вечірні години, коли працездатне населення перебуває вдома. У цих працях досліді обмежені азимутальними кутами  $50^\circ$  на схід та  $50^\circ$  на захід, коли колектори орієнтовані по азимуту в різні боки, і не дають можливості визначити коефіцієнти орієнтації  $K_o$  відносно південного напрямку.

У [3] також знайдено коефіцієнти орієнтації лише для вертикальних сонячних колекторів та пасивних систем сонячного опалення. У відомій нам літературі відсутні дослідження коефіцієнтів орієнтації для різних варіантів розташування колекторів.

### Постановка задачі

Мета дослідження – визначити коефіцієнти орієнтації приймачів сонячної енергії відносно південного напрямку при різних кутах їх нахилу до горизонту і різних азимутах (відхиленнях перпендикуляра до площини колектора від напрямку на південь ( $\gamma = 0$ )).

### Визначення коефіцієнтів орієнтації

Дані по сонячній енергії наведено в [6, 7]. Додатково було використано матеріали з інтернету (канадська організація RETScreen) [10]. Для перевірки достовірності цієї інформації результати RETScreen порівнювали з інформацією з довідника [6] для міст України на основі даних метеостанцій нашої країни. Виявлено гарний збіг результатів для Києва та Одеси [3]. Велике відхилення є лише для Одеси в жовтні місяці, коли дані RETScreen значно відрізняються для кута  $S=30^\circ$ . При аналізі інформації щодо отриманої за день сонячної енергії варто звернути увагу на те, що для більшості регіонів у листопаді, грудні, січні та лютому нахил до горизонту  $S$  практично не впливає на кількість отриманої енергії, що пояснюється великою часткою розсіяної радіації при значній хмарності, яка майже нівелює пряму радіацію. Деякий вплив орієнтації по вертикалі відчувається у Львові, Харкові, Конотопі й Ужгороді при азимутах  $\gamma$  близько  $0^\circ$ . Ми отримали інформацію по репрезентативним метеостанціям (у м. Ковель Волинської області та м. Конотоп Сумської області), а також для таких міст: Київ, Львів, Харків, Одеса, Ужгород, Євпаторія, які є представниками типових географічно-кліматичних зон.

Коефіцієнт орієнтації  $K_o$  знайдений діленням дійсної кількості енергії  $E_\gamma^d$  при азиму-

ті (рух сонця зі сходу на захід)  $\gamma > 0$  із врахуванням хмарності на отриману енергію за день  $E_d$  і  $\gamma = 0$  (південна орієнтація) при таких самих умовах:

$$K_o = \frac{E_\gamma^d}{E_d} \quad (2)$$

Нижче наведено побудовані за результатами розрахунків на ЕОМ за спеціально створеною програмою графіки зміни коефіцієнтів орієнтації протягом року. Значимо, що результати для східного напрямку слід використовувати і для західного (азимуту  $-90^\circ$  та  $+90^\circ$ ).

Так само і для південного сходу чи заходу.

На рис. 1 наведено коефіцієнти орієнтації для Києва при різних варіаціях кутів нахилу та азимуту. Лінії розташовані доволі близько, тому кращим виявилось подання результатів для окремих комбінацій кутів нахилу  $S$  та азимутів  $\gamma$  для різних міст (рис. 2–9). Характер залежності коефіцієнтів орієнтації від місяців року однаковий для всіх міст. Для горизонтальної поверхні поняття коефіцієнта орієнтації відсутнє, тому що ця поверхня нікуди не орієнтована. Із рис. 2–9 видно, що восени, взимку та весною напрямки південно-східної та південно-західної орієнтації отримують значно більше енергії незалежно від кута нахилу до горизонту. Влітку поверхні, орієнтовані на схід і захід та південний схід і південний захід, отримують більше енергії і  $K_o = 1,1-1,25$  (див. рис. 2 і 3). Незначно менші  $K_o$  при такій самій орієнтації та кутах нахилу  $60^\circ$ . Зі зменшенням кута нахилу  $K_o$  влітку стають меншими одиниці або близькими до одиниці залежно від географічного розташування міста (див. рис. 8 і 9).

Взимку поверхні східної і західної орієнтації майже всіх кутів нахилу до горизонту отримують лише 50–70 % сонячної енергії від південної орієнтації.

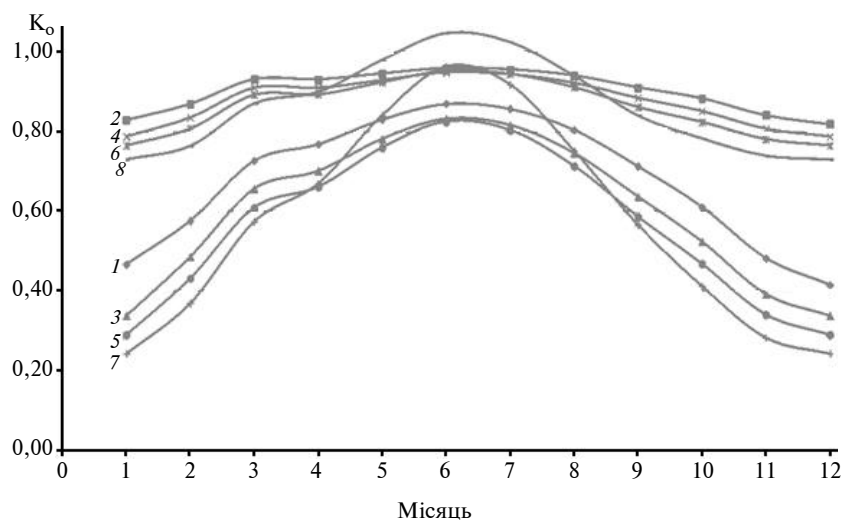


Рис. 1. Коефіцієнти орієнтації для Києва: 1 – схід,  $S=30^\circ$ ; 2 – південь–схід,  $S=30^\circ$ ; 3 – схід,  $S=45^\circ$ ; 4 – південь–схід,  $S=45^\circ$ ; 5 – схід,  $S=60^\circ$ ; 6 – південь–схід,  $S=60^\circ$ ; 7 – схід,  $S=90^\circ$ ; 8 – південь–схід,  $S=60^\circ$

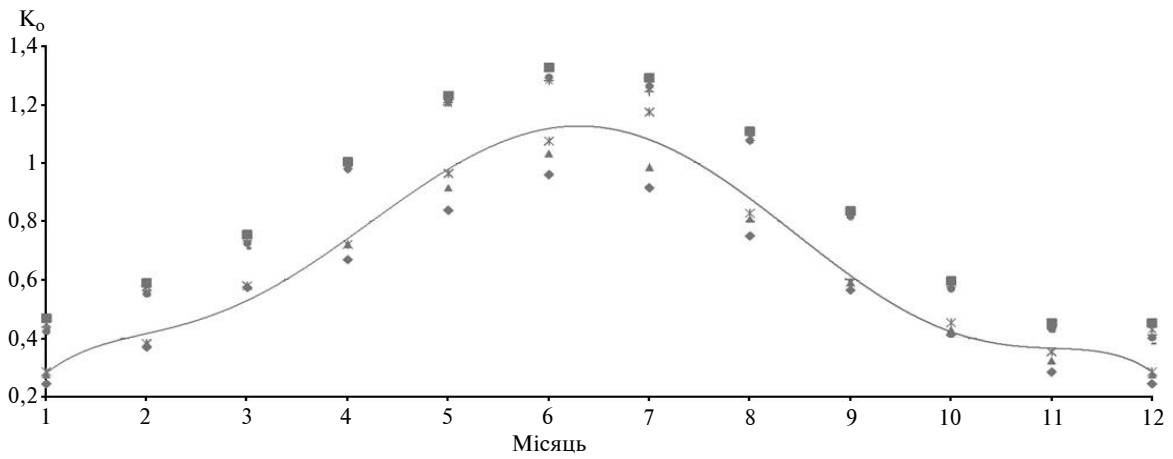


Рис. 2. Коефіцієнти орієнтації для міст України: нахил 90°, азимут 90°:

◆ – Київ; ■ – Ужгород; ▲ – Одеса; × – Львів; ✕ – Євпаторія; ● – Конотоп; + – Ковель; – – Харків

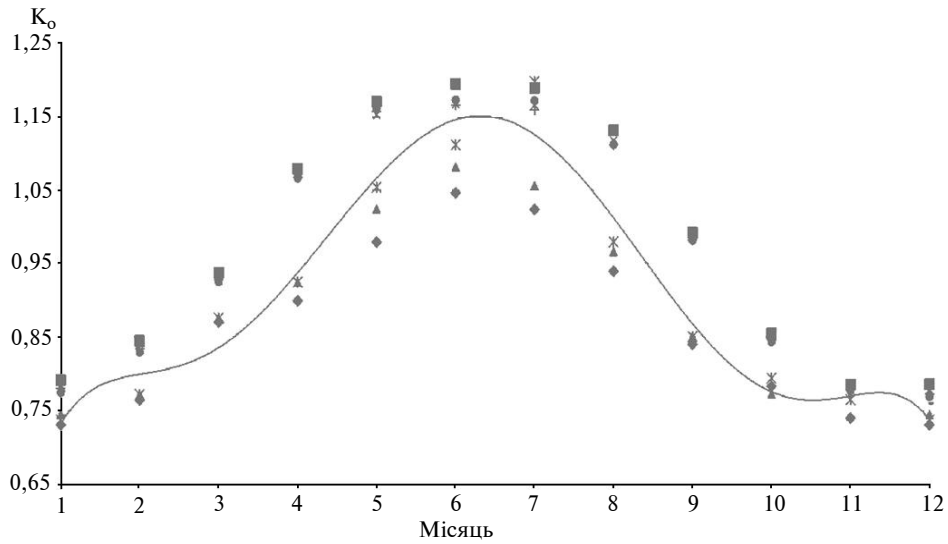


Рис. 3. Коефіцієнти орієнтації для міст України: нахил 90°; азимут 45°

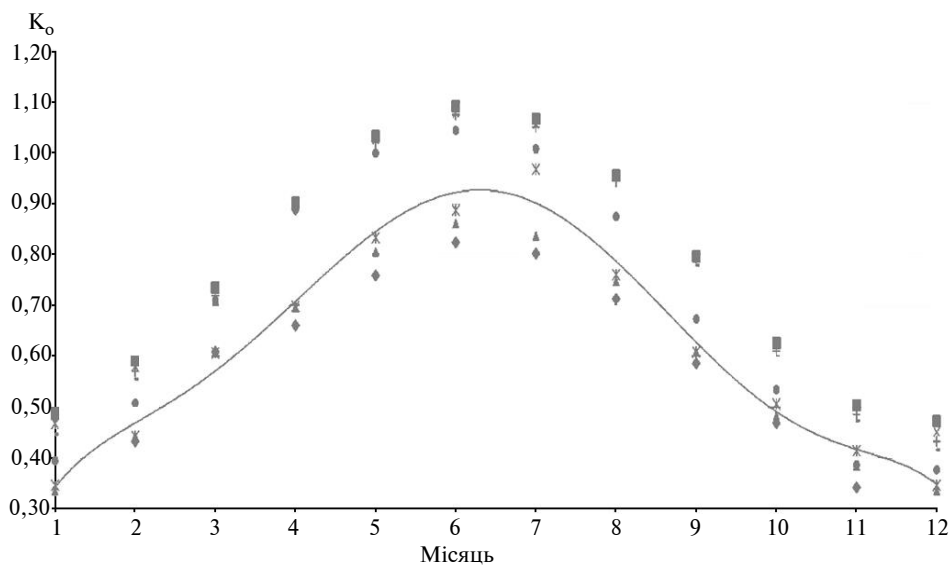


Рис. 4. Коефіцієнти орієнтації для міст України: нахил 60°; азимут 90°

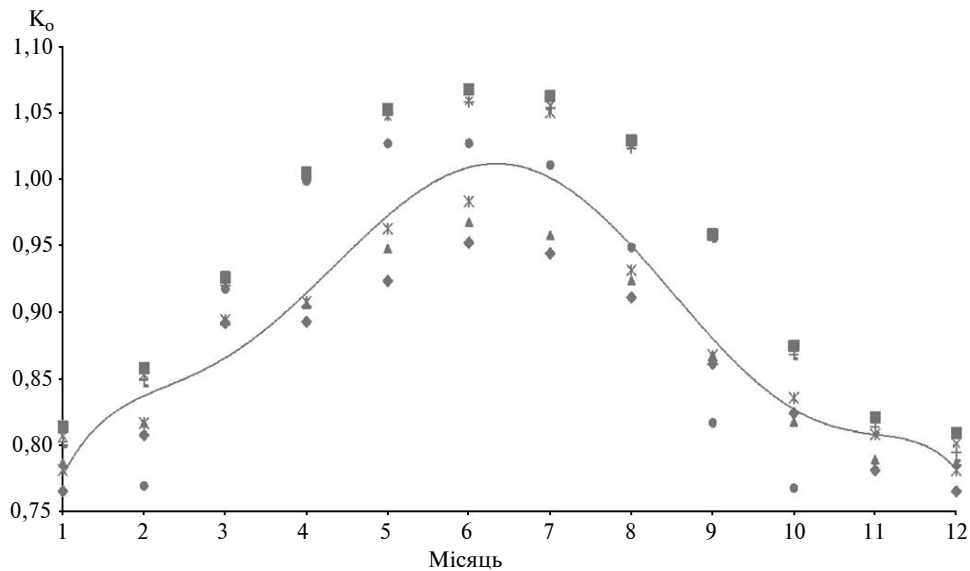


Рис. 5. Коефіцієнти орієнтації для міст України: нахил 60°; азимут 45°

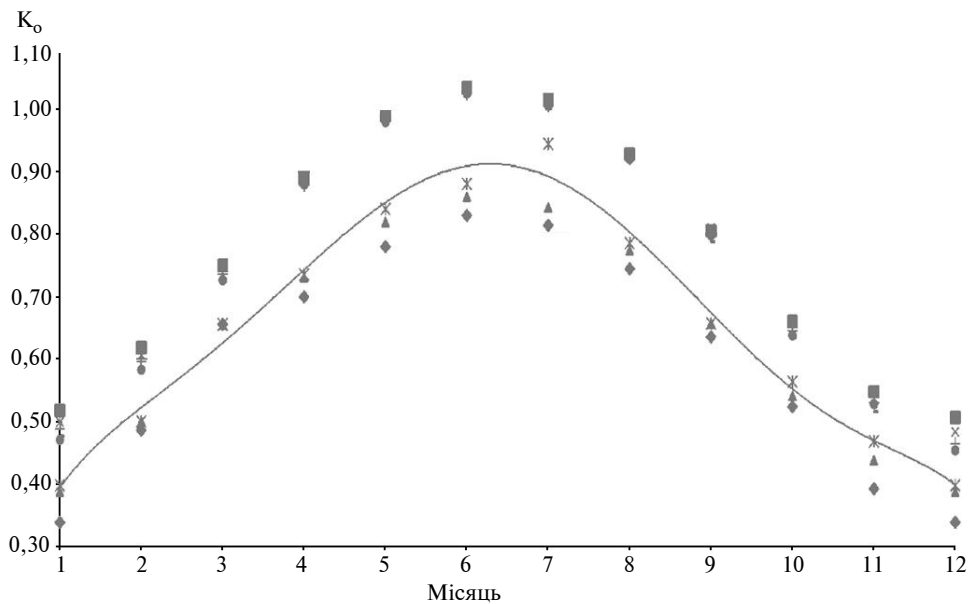
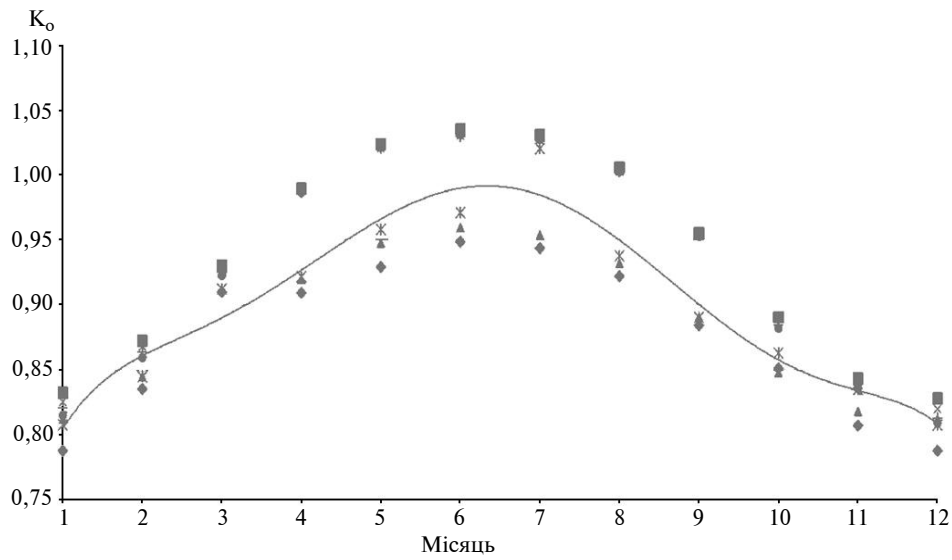
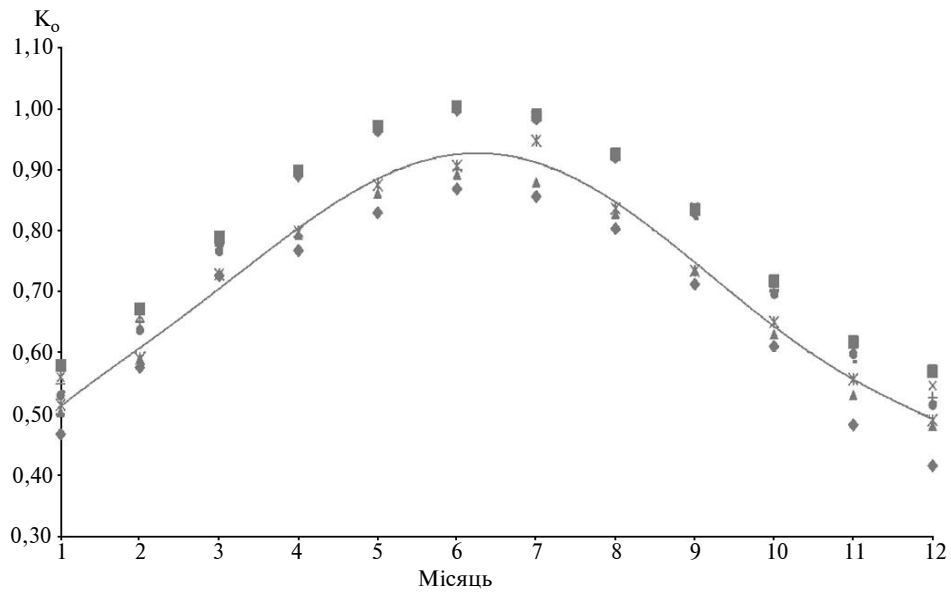
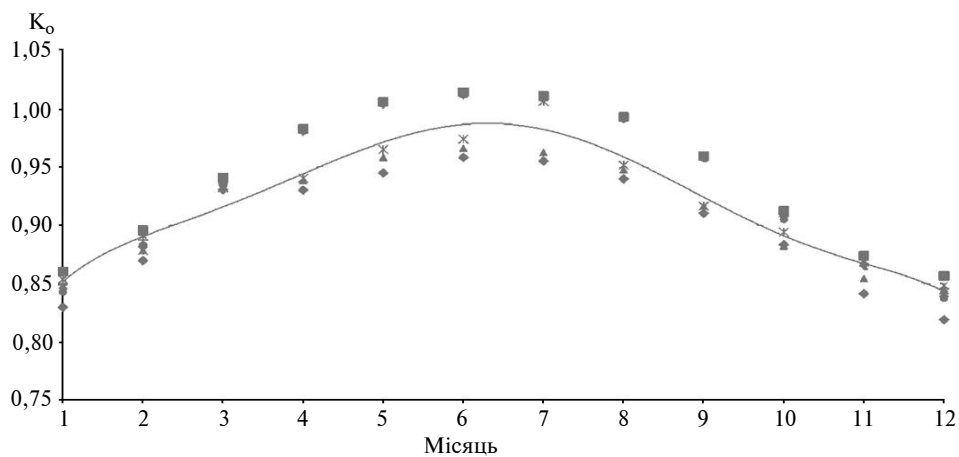


Рис. 6. Коефіцієнти орієнтації для міст України: нахил 45°; азимут 90°

Отримані  $K_o$  можуть бути використані під час розрахунку отриманої за місяць енергії відповідно до залежності (1). Значення  $E_m$ , кВт·год/день, що є у рівнянні (1), наведені в [1, 2] для кутів  $S = 60^\circ$  та  $90^\circ$  для широти  $49^\circ$ , яка є середньою для України. Для зручності в таблиці подаємо значення  $E_m$  для широти  $49^\circ$  в кВт·год/день. Для інших кутів нахилу величину  $E_m$  слід розрахо-

увати за відомою залежністю на основі даних про величину сонячної радіації на горизонтальну поверхню. Значення  $E_m$  для інших широт від Новгород-Сіверська ( $52^\circ$ ) до Південного берега Криму ( $44^\circ 30'$ ) відрізняються на 5–10 % від отриманих для  $49^\circ$  залежно від сезону [3]. Можна брати середнє відхилення для крайніх північних і південних областей України близько 7 % протягом року.

Рис. 7. Коефіцієнти орієнтації для міст України: нахил  $45^\circ$ ; азимут  $45^\circ$ Рис. 8. Коефіцієнти орієнтації для міст України: нахил  $30^\circ$ ; азимут  $90^\circ$ Рис. 9. Коефіцієнти орієнтації для міст України: нахил  $30^\circ$ ; азимут  $45^\circ$

**Таблиця 1.** Максимальна енергія, отримана за середньомісячний день при безхмарному небі, кВт·год/(м<sup>2</sup>·день), південна орієнтація  $\gamma = 0$ , широта 49°

Нахил, град	Місяць											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
60	4,654	5,846	6,628	6,512	6,128	5,953	6,128	6,512	6,628	5,846	4,654	3,85
90	4,393	5,179	5,213	4,351	3,584	3,313	3,584	4,351	5,213	5,179	4,393	3,78

З формули (1) при необхідності можна знайти площу  $F$  сонячних колекторів при відомій кількості необхідної енергії  $E$ .

### Висновки

Для літнього гарячого водопостачання найбільш вигідно встановлювати колектори під кутами 30° до горизонту в південному напрямку або вертикально на схід чи захід.

У зимові місяці кут нахилу сонячних колекторів не відіграє великої ролі через значну хмарність. Більше впливає азимут.

Коефіцієнти орієнтації дадуть можливість проектувальникам швидко знайти чи оптимальну орієнтацію сонячних установок, чи отриману енергію.

Знайдені значення коефіцієнтів орієнтації можуть бути використані в інших країнах з незначними похибками.

У майбутньому варто провести дослідження із врахуванням потепління та хмарності на межі XX і XXI століть.

1. Пуховий І.І. Дослідження та інженерні розрахунки комбінованої пасивної системи сонячного опалення з використанням теплоти кристалізації для підігріву повітря в буферній зоні // Наукові вісті НТУУ "КПІ". Сер. Теплоенергетика: ювіл. збірник наук. пр. – 1997. – С. 51–55.
2. Разработка и тепловые расчеты систем солнечного отопления: Метод. указ. по курсу "Использование нетрадиционных видов энергии в системах теплоснабжения" // Сост. И.И. Пуховой. – К., КПИ. – РОВО "Укрвузполіграф", 1992. – 24 с.
3. Пуховий І.І., Новаківський Є.В. Енергія, отримана від сонячного випромінювання в різних кліматично-географічних зонах України з урахуванням хмарності та її залежність від орієнтації сонячних колекторів // Відновлювальна енергетика. – 2006. – № 4. – С. 28–36.
4. Новаковський Е.В., Денисова А.Е., Мазур Е.Г. Эффективность гелиоколлекторных приставок типа "дельта-система" с промежуточным экраном для комбинированных систем теплоснабжения // Эко-технологии и ресурсосбережение. – 2003. – № 1. – С. 16–18.
5. Новаковський Е.В. Анализ результатов экспериментальных исследований традиционных солнечных коллекторов и дельта-систем // Холодильна техніка і технологія. – 2004. – № 1 (87). – С. 45–48.
6. Справочник по климату СССР. – Вып. 10, ч. 1. – Солнечная радиация, радиационный баланс и солнечное сияние. – Л.: Гидрометиздат, 1966. – 124 с.
7. Климат Украины / Под ред. Г.Ф. Приходько. – Л.: Гидрометиздат, 1967. – 414 с.
8. Пуховий І.І., Резцов В.Ф., Кудря Т.С. Вертикальне розміщення сонячних колекторів для гарячого водопостачання та опалення // Нетрадиційна енергетика XXI века. Матер. V междунар. конф., Крым. – 2004. – С. 60–62.
9. Chateauminois V., Mandineau D., Roux D. Calcul d'installations solaires a eau. – Paris: PYS Edition, 1979. – 206 p.
10. [www.retscreen.com](http://www.retscreen.com)

Рекомендована Радою  
теплоенергетичного факультету  
НТУУ "КПІ"

Надійшла до редакції  
28 грудня 2011 року