

УДК 629.92

К. В. МАХОТІЛО, канд. техн. наук

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків

Д. М. КОСАТИЙ, директор

ТОВ «БУРЕНЕРГО», м. Харків

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ СОНЯЧНИХ КОЛЕКТОРІВ

Проанализированы архивные данные о суточной выработке тепла плоскими и вакуумными солнечными коллекторами, установленными на экспериментальных гелиоустановках в Харьковской области. Предложено аппроксимирующее аналитическое выражение для расчета суточной выработке тепла коллекторами в зависимости от продолжительности светлого времени суток и облачности.

Проаналізовано архівні дані про добове вироблення тепла плоскими та вакуумними сонячними колекторами, встановленими на експериментальних геліоустановках в Харківській області. Запропоновано апроксимуючий аналітичний вираз для розрахунку добового вироблення тепла на колекторах в залежності від тривалості світлого часу доби та хмарності.

Вступ

Використання сонячної енергії для гарячого водопостачання та обігріву є одним з пріоритетних напрямків розвитку відновлюваної енергетики в Україні. Завдяки широкому розповсюдженню та масовому виробництву сонячних колекторів (СК) в Європі та Китаї їх вартість знизилась до рівня, що вже зараз дозволяє розглядати їх як самоокупну технологію для українських споживачів. Проте досягнення терміну окупності системи тепlopостачання на базі СК в межах 10-15 років можливо лише при її вірному проектуванні, зокрема виборі потужності. При цьому виникає проблема відповідності номінальних технічних показників СК тим, які вони демонструють в реальних умовах експлуатації в Україні.

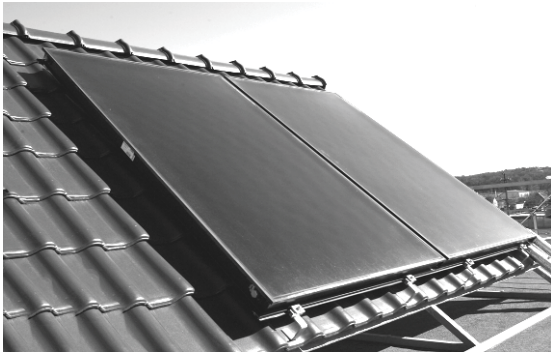
В країнах ЄС номінальні технічні показники СК визначаються згідно стандарту EN 12975 [1] під час незалежної сертифікації. При цьому необхідні дослідження ефективності СК проводять при сприятливих погодних умовах, таких як ясний день, безвітряна погода, або всередині спеціально обладнаних приміщень. Втім в Україні, за винятком півдня, кліматичні умови для СК часто далекі від ідеальних. Тому метою даного дослідження було обрано практичне оцінювання ефективності СК в залежності від метеоумов та періоду року.

База експериментальних досліджень

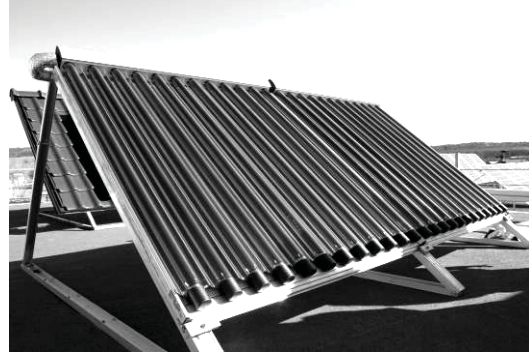
Базою для проведення досліджень став Демонстраційно-освітній центр «Енергоострів» ТОВ «БУРЕНЕРГО», розташований неподалік м. Харкова. Дослідження виконувалися спільно співробітниками ТОВ «БУРЕНЕРГО» та кафедри електричних станцій НТУ «ХПІ». Об'єктом дослідження стали плоскі та вакуумні СК фірми Vaillant серії aigoTHERM (див рис. 1). Технічні характеристики СК наведені в табл. 1 згідно [2].

На даху будівлі центру встановлено дві незалежні геліоустановки, кожна з яких містить по два СК одного типу. Обидві геліоустановки приєднані до багатофункціонального накопичувача allSTOR VPS 1000/2 ємністю 1000 л. СК орієнтовані строго на південь під кутом 30° до горизонту. Географічні координати місця розташування центру: 49°60' північної широти, 36°28' східної довготи.

Вимірювання добового вироблення тепла кожною геліоустановкою здійснюється на сонячних станціях VPM 20S (автоматизована насосна група геліоустановки). Зібрані дані про добове вироблення тепла на геліоустановках з різними типами СК в період з липня по жовтень представлені на рис. 2.



а)



б)

Рис. 1. Сонячні колектори Vaillant auroTHERM на даху центру «Енергоострів»: а) плаский VFK 145 V; б) вакуумний VTK 1140/2

Таблиця 1

Технічні характеристики СК

Назва	auroTHERM VFK 145 V	auroTHERM exclusiv VTK 1140/2
Тип	Плаский	Вакуумний (12 труб)
Розміри вхшхг, мм	2033×1233×80	1392×1652×111
Площа колектора, м	2,51	2,28
Абсорбуюча поверхня, м ²	2,35	2
ККД згідно EN 12975, %	84	64,2
Мінімальна продуктивність, кВт·год/м ² /рік	525	525

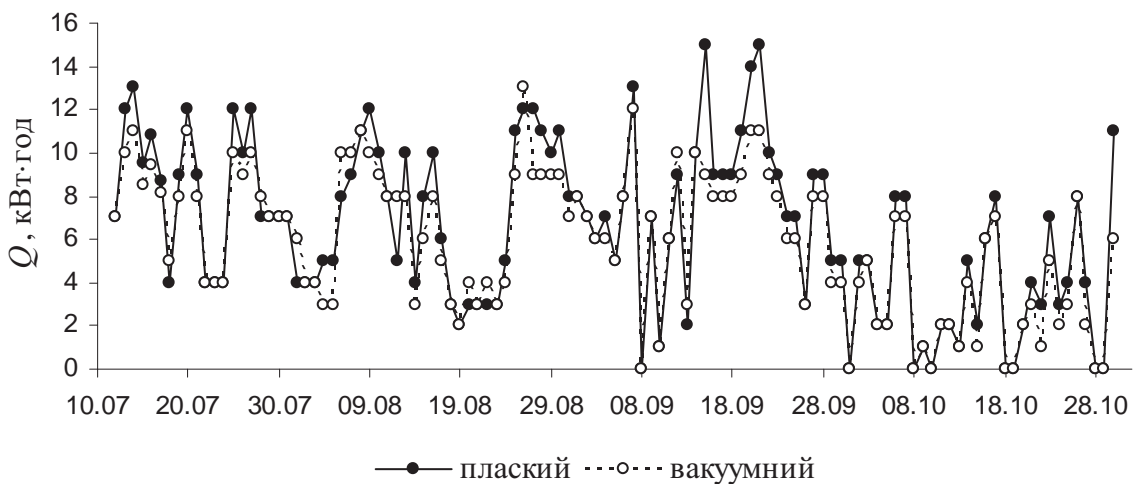


Рис. 2. Експериментальні дані про добове вироблення тепла на СК

Апроксимація експериментальних даних

Головним фактором, що впливає на вироблення енергії СК, є обсяг сонячної інсоляції в конкретну добу. Спрощено цей чинник можна вважати функцією двох незалежних параметрів: тривалості світлого часу доби (СЧД) та хмарності. Температура, вологість та запиленість повітря, напрям та швидкість вітру також впливають на ефективність СК, але їх вплив є меншим. Тому в даному дослідженні задля спрощення ці фактори окремо не розглядались.

Тривалість СЧД визначалась за астрономічними таблицями у годинах. Хмарність оцінювалась за даними гідрометеоцентру по Харківській області у відсотках, де 0 % – це ясно, а 100 % – суцільна хмарність.

Для аналізу ефективності СК календарні дані про добове вироблення тепла були розділені на вибірки, диференційовані за тривалістю СЧД і хмарністю. В одну вибірку об'єднувались дані, що відносяться до одного діапазону тривалості СЧД та хмарності. Ширина діапазонів по тривалості СЧД була обрана в 0,5 г, а по хмарності – в 20 %. В кожній вибірці дані були усереднені. Результати такої обробки експериментальних даних наведені в табл. 2.

Таблиця 2
Усередненні значення добового вироблення тепла
пласкими/вакуумними СК, кВт·год

Тривалість СЧД, г	Хмарність, %					
	0	20	40	60	80	100
12,5	–	10/10	11/9	8/9	–	2/3
13	–	–	8/8	8/8	5/5	4/4
13,5	10/9	–/12	11/9	8/7	–	–
14	–	–	10/8	5/5	3/4	3/3
14,5	12/10	–	9/9	10/8	6/7	3/3
15	–	–	–	8/10	5/6	4/3
15,5	12/10	–	11/–	10/7	8/9	4/4
16	13/11	12/10	–/9	7/9	–/4	–/5

Незважаючи на нещільне заповнення табл. 2, пов'язане з відносно невеликим періодом спостереження за СК, отримані дані можна використати для побудови апроксимуючих функціональних залежностей.

Аналіз залежності вироблення тепла Q , кВт·год від хмарності γ , % при кожному значення тривалості СЧД $l_{\text{СЧД}}$, г (див. рис. 3) показує, що для обох типів СК вона досить точно (з $R^2 > 0,9$) описується поліномом другого ступеня виду:

$$Q = a_2\gamma^2 + a_1\gamma + a_0. \quad (1)$$

Причому коефіцієнти a_2 , a_1 в (1) можуть бути прийняті однаковими для всіх значень $l_{\text{СЧД}}$, а вільний член a_0 змінюється в залежності від $l_{\text{СЧД}}$ (див. табл. 3, 4).

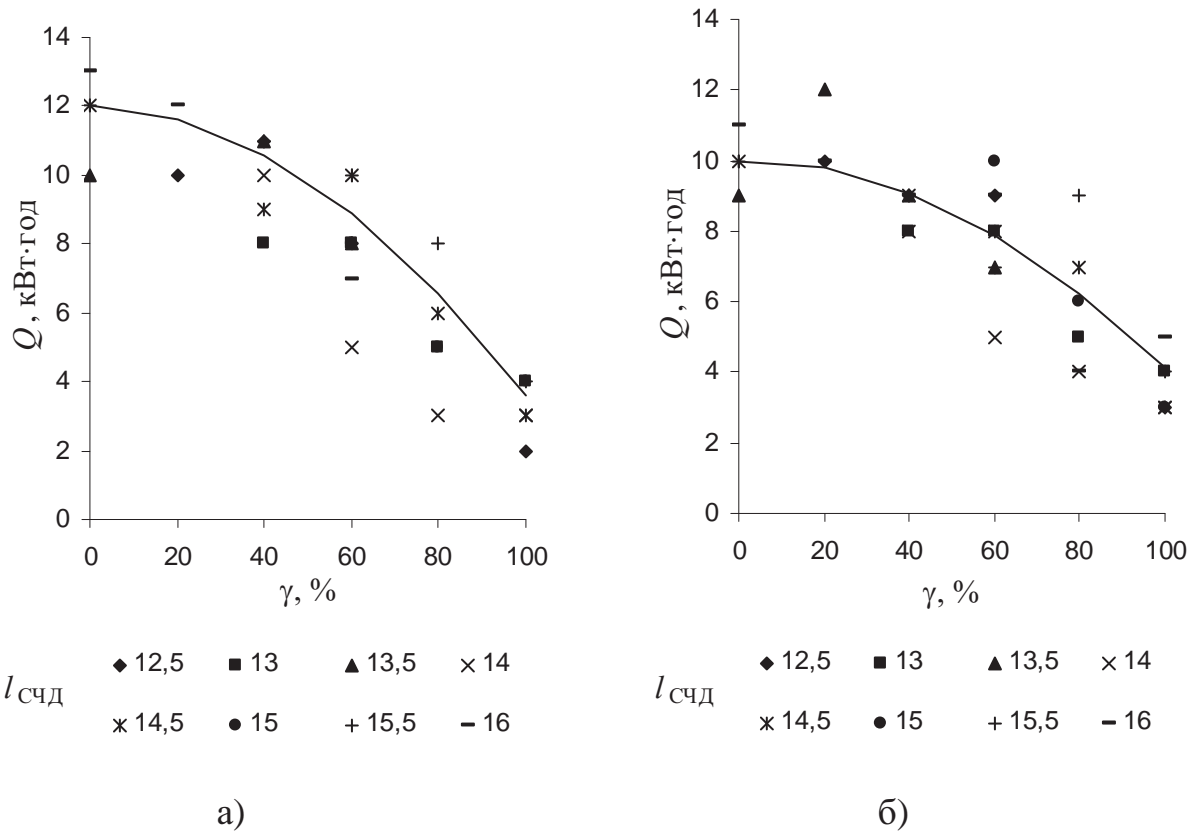


Рис. 3. Вироблення тепла а) пласкими і б) вакуумними СК в залежності від хмарності для різної тривалості СЧД

Таблиця 3
Значення коефіцієнтів a_2, a_1 в (1)

Тип СК	a_2	a_1
Плаский	-0,0008	-0,0039
Вакуумний	-0,0009	0,025

Значення вільного члена a_0 в (1)

Таблиця 4

Тип СК	$l_{счд}, \Gamma$							
	12,5	13	13,5	14	14,5	15	15,5	16
Плаский	9,5	10	11	11,8	12	12,5	12,8	13
Вакуумний	9	9,5	10	10,3	10,5	10,8	11	11,3

Аналіз залежності вільного члена a_0 від $l_{счд}, \Gamma$ показує (див. рис. 4), що вона також добре апроксимується ($R^2 \approx 0,99$) поліномом другого ступеня:

$$a_0 = b_2 l_{счд}^2 + b_1 l_{счд} + b_0. \tag{2}$$

Значення коефіцієнтів b_i в (2) наведені в табл. 5.

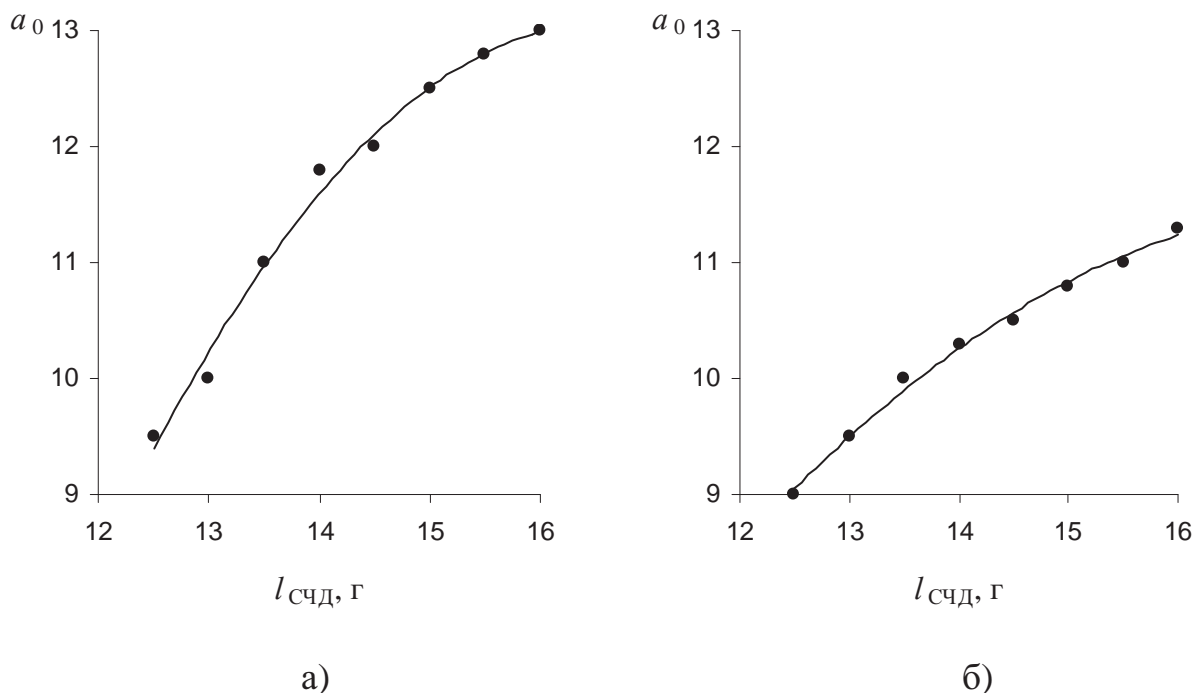


Рис. 4. Апроксимація залежності a_0 від тривалості СЧД для
а) плоских і б) вакуумних СК

Таблиця 5

Значення коефіцієнтів b_i в (2)

Тип СК	b_2	b_1	b_0
Плаский	-0,2189	7,2714	-47,275
Вакуумний	-0,0905	3,2024	-16,843

Об'єднуючи (1) і (2), можна отримати повну формулу для опису добового вироблення тепла СК в залежності від тривалості СЧД і хмарності:

$$Q = a_2 \gamma^2 + a_1 \gamma + b_2 l_{\text{счд}}^2 + b_1 l_{\text{счд}} + b_0. \quad (3)$$

Формула (3) досить точно апроксимує значення Q , наведені в табл. 2. Середнє відхилення складає близько 0,3 кВт·год, стандартне відхилення – 1,5 кВт·год. Це дозволяє використовувати її для дослідження ефективності СК і проведення технічних розрахунків геліосистем.

На рис. 5 представлено енергетичні характеристики досліджених геліоустановок на плоских та вакуумних СК, розраховані за (3). Як видно, влітку в безхмарну погоду геліоустановка на плоских СК виробляє в середньому більше 13 кВт·год тепла, а восени або навесні в хмарну погоду – близько 1 кВт·год. В той же час для геліоустановки на вакуумних СК ці показники складають 11 кВт·год і 2,5 кВт·год, відповідно. Влітку навіть за несприятливих погодних умов продуктивність СК обох типів не знижується нижче 40 % відносно максимально можливої. А в осінні і весняні місяці середня продуктивність СК зменшується в 2 рази відносно літньої.

Висновки

Виконані експериментальні та теоретичні дослідження дозволили отримати формулу для оцінки продуктивності СК для будь-якого дня періоду весна-літо-осінь при різній

хмарності. Подальше накопичення архівних даних про роботу геліоустановок дозволить підвищити її точність та область достовірності.

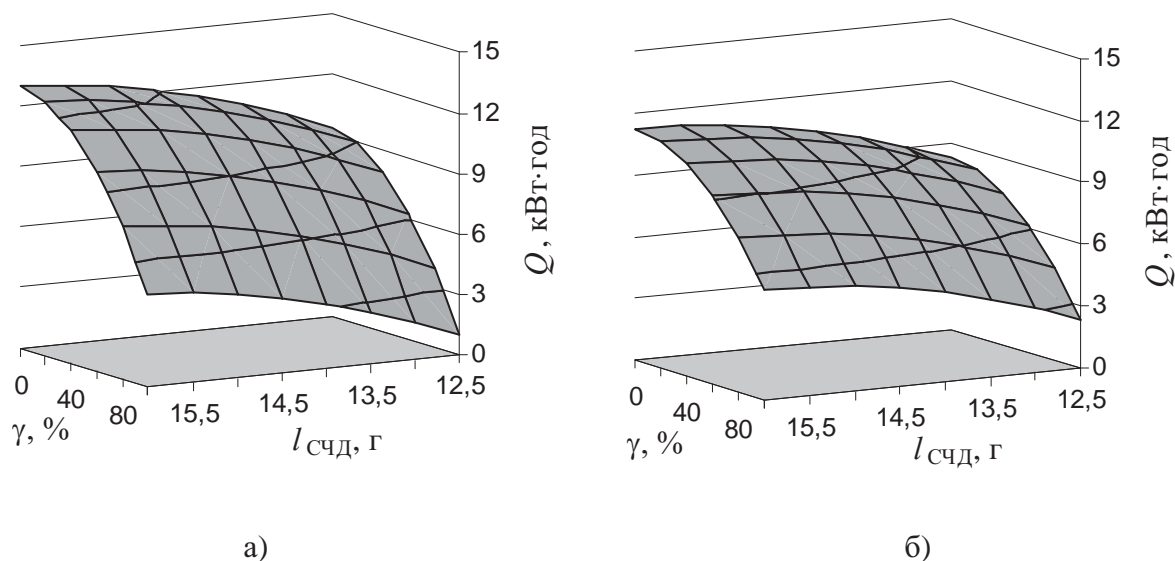


Рис. 5. Вироблення тепла а) плоскими і б) вакуумними СК в залежності від хмарності та тривалості СЧД

Загалом проведені дослідження та досвід експлуатації СК в Демонстраційно-освітньому центрі «Енергоострів» ТОВ «БУРЕНЕРГО» підтверджують відомі конструктивні, монтажні і експлуатаційні переваги та вади плоских і вакуумних СК. З енергетичної точки зору плоскі СК забезпечують більш високу продуктивність при теплій сонячній погоді, а вакуумні СК здатні видавати більш гарячий теплоносій при низьких температурах повітря і хмарній погоді.

Оцінюючи ефективність досліджених СК, необхідно відмітити, що за період експлуатації в центрі їх річна продуктивність склала лише близько 60 % від мінімального рівня, вказаного виробником. Такий результат, безперечно, пов'язаний з невідповідністю стандартизованих випробувальних умов, в яких здійснював оцінку виробник, і реальних умов, в яких експлуатуються СК. Це необхідно враховувати при використанні в Україні рекомендації по проектуванню геліосистем, розроблених для центральної Європи. Тим не менш, обидві геліоустановки на плоских і вакуумних СК показали себе як надійні системи постачання гарячої води, здатні забезпечити споживачу необхідний рівень комфорту й економічності.

EXPERIMENTAL EVALUATION OF SOLAR COLLECTORS EFFICIENCY

K. V. MAKHOTILO, PhD, D. M. KOSATIY, director

The daily heat production of flat plate and evacuated tube solar thermal collectors installed in the experimental solar system in Kharkiv region is analyzed. An approximated analytical expression for estimation of the daily heat production, depending on the length of daylight and cloudiness is proposed.

Поступила в редакцію 15.11 2012 г.