

УДК 620.97

С. С. Титар, канд. техн. наук, проф.;

С. Ф. Крижна, асп.

## СОНЯЧНІ КОЛЕКТОРИ РІЗНИХ КОНСТРУКЦІЙ В СИСТЕМАХ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ

*Досліджено переваги та недоліки використання різноманітних конструкцій сонячних колекторів у системах теплопостачання на території України. Здійснено порівняльний аналіз плоских та вакуумних сонячних колекторів за їх ефективністю, площею та продуктивністю.*

### Вступ

На сьогодні найефективнішим шляхом розвитку нетрадиційної енергетики є використання сонячної енергії для здобуття тепла. Перехід на сонячну енергію запобігає викидам в атмосферу вуглекислого газу, чадного газу, двоокису сірки, закису азоту та інших забрудників. Розроблено і розробляється багато інженерних систем сонячного теплопостачання, але всі вони мають один спільний елемент — сонячний колектор (СК). Ефективність роботи сонячної установки залежить, головним чином, від правильного вибору самого колектора.

Простим і найдешевшим способом використання сонячної енергії є нагрівання побутової води в плоских сонячних колекторах. Вони мають прийнятне співвідношення ціна/якість і широкі можливості для установки. Технології ефективного нагрівання води для побутових цілей за допомогою плоских СК досить добре відпрацьовані і широко доступні на ринку.

Плоскі сонячні колектори найефективніше використовуються в сонячних регіонах. Вони різко втрачають в ефективності в несприятливі дні — в холодну і хмарну погоду. Більше того, під впливом термічного і корозійного погіршення селективного покриття абсорбера з часом падає енергетичний ККД СК. Ці процеси залежать від температурного режиму під час експлуатації колекторів (перш за все, перегрів абсорбера в результаті різних неполадок сонячного устаткування), а також від корозійного навантаження.

Сьогодні на ринку разом з плоскими колекторами ширше пропонують вакуумні трубчасті СК в основному виробників КНР. На відміну від плоских, вакуумні сонячні колектори, унаслідок вживання вакуумної теплоізоляції, характеризуються істотно нижчими питомими тепловими втратами. Також, у разі використання вакуумних колекторів відсутня можливість корозійної деградації селективних покриттів, якщо забезпечена повна герметичність. З іншого боку, їх оптичний ККД дещо поступається плоским СК. У регіонах з високими перепадами температур вакуумні колектори набагато ефективніші плоских через такі фактори. По-перше, вони добре працюють в умовах як прямої, так і розсіяної сонячної радіації. Ця особливість, у поєднанні з властивістю вакууму зводити до мінімуму втрати тепла назовні, робить ці колектори незамінними в умовах холодної похмурої зими. По-друге, завдяки округлій формі вакуумної трубки сонячне світло падає перпендикулярно поглиначу протягом більшої частини дня. Для порівняння — у непорушно закріпленому плоскому колекторі сонячне світло падає перпендикулярно його верхній лише опівдні.

Основними стримуючими недоліками вакуумних колекторів є:

1. Складність контролю якості самими користувачами (вакуум не видно, а нанесені спеціальні покриття для поглинання кисню не відразу проявляють зникнення вакууму).
2. Незначний приріст ефективності, порівняно з вартістю.
3. Складність роботи в країнах з можливими морозами. Взимку вакуумні трубки значно частіше покриті снігом, ніж плоскі колектори.

Таким чином, плоскі і вакуумні колектори мають свої переваги і недоліки. З урахуванням того, що вони значно відрізняються за ціною, стає очевидним, що вирішальним критерієм у виборі колектора є мета його вживання.

*Метою роботи є визначення найоптимальніших умов експлуатації сонячних колекторів різних конструкцій.*

## Теплова ефективність сонячних колекторів

Теплова ефективність сонячного колектора (ККД) — це відношення корисно переданого тепла колектора до отриманої енергії сонячного випромінювання. Цей показник різний для різних типів колекторів і залежить від інтенсивності сонячної радіації, від теплових і оптичних втрат, температури зовнішнього повітря і так далі.

Параметри теплотехнічної досконалості плоских СК практично досягли граничного рівня і мають відносно невеликий розкид для різних виробників. Більшість плоских колекторів, що є сьогодні на ринку, характеризуються приблизно однаковим оптичним ККД, близьким до значення 0,8. Вакуумні трубчасті СК досі знаходяться на стадії пошуку і відробітку оптимальної конструкції, тому вибір серед них «типового» представника дещо ускладнений. Разом з тим, статистична обробка характеристик 5 різних конструкцій вакуумних СК дозволила обґрунтувати вибір типового вакуумного сонячного колектора з оптичним ККД, рівним 0,75.

Найвідпрацьованіші і найчастіше пропоновані сьогодні конструкції СК і їх характеристики наведені в табл. 1. Тут А і Б — плоскі колектори, а В — вакуумний трубчастий колектор. Колектор типу А є плоским колектором без скління і застосовується виключно для нагріву води в басейні. Колектори Б і В застосовуються, практично, у всіх випадках, передбачених для нагріву води, у тому числі і для опалювання.

Таблиця 1

Характеристики сонячних колекторів

Тип колектора	Оптичний ККД	Коефіцієнт тепловтрат, Вт/(м <sup>2</sup> ·К)
А	0,95	15
Б	0,8	3,5
В	0,75	1,4

На практиці найпоширеніші плоскі колектори, що мають одношарове скління (тип Б), оскільки вартість виготовлення і теплова продуктивність таких колекторів мають найприйнятніше співвідношення. У зимовий час стає помітною перевага вакуумних колекторів, і це буде описано нижче. Зазначимо, що для порівняння вибрано колектори різних, досить авторитетних виробників і, отже, порівнюватимуться характеристики кращого устаткування, яке відноситься до груп А, Б, В.

ККД сонячних колекторів виражають характеристикою [1]:

$$\eta = \eta_0 - K_k (T_T - T_B) / I_k, \quad (1)$$

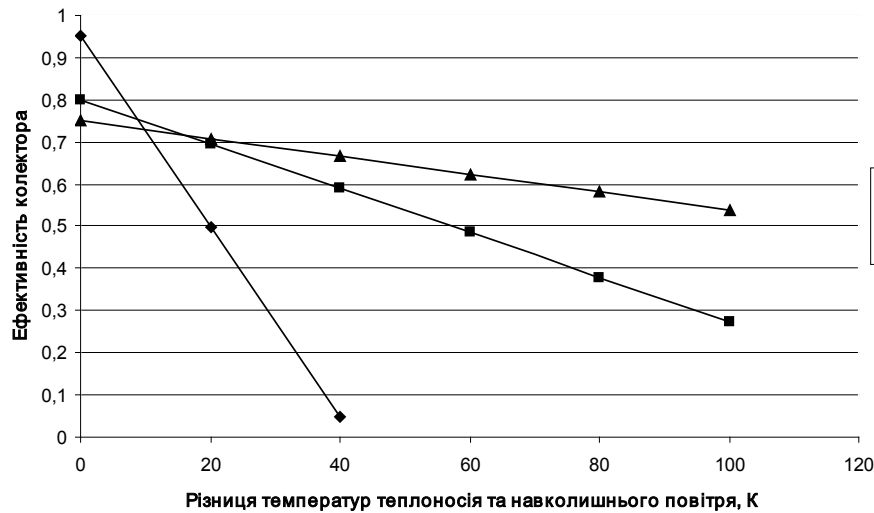
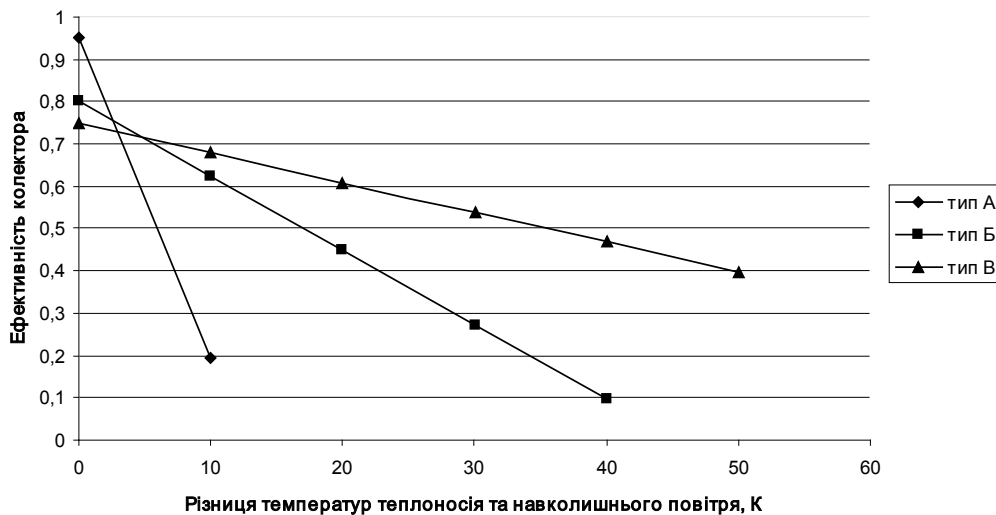
де  $\eta_0$  — ефективний оптичний ККД колектора;  $I_k$  — інтенсивність потоку сонячної енергії, що надходить на поверхню сонячного колектора, Вт/м<sup>2</sup>;  $K_k$  — ефективний коефіцієнт теплових втрат СК, Вт/(м<sup>2</sup>·К);  $T_m$  — температура теплоносія на вході в колектор, К;  $T_B$  — температура зовнішнього повітря, К.

Формула (1) визначає миттєве значення ККД сонячного колектора, яке може бути прийняте як середнє для даної години доби. Але, оскільки інтенсивність потоку сонячної енергії протягом дня змінюється від нуля перед сходом і після заходу сонця до максимуму в безхмарний полудень, також сильно змінюється і ККД СК. Звідси випливає, що середньоденне значення ККД буде значно нижчим, ніж його максимальне значення опівдні.

Сучасні виробники колекторів вимірюють ККД в експерименті для кожної конкретної конструкції колектора. За результатами випробувань за допомогою наведеного вище рівняння робиться кореляція, що враховує нелінійність ККД.

Розрахунок ефективності сонячних колекторів був виконаний для умов м. Одеси. З метою спрощення розрахунку в якості  $I_k$  вибрані середньоденні потоки сонячної радіації для липня (665 Вт/м<sup>2</sup>) і січня (199 Вт/м<sup>2</sup>). На рис. 1 і 2 показані криві, побудовані за результатами розрахунку.

З наведеного графіка видно, що відкриті абсорбери (тип А) ефективно працюють лише у разі їх вживання для сезонного підігрівання води в басейнах, коли необхідна температура води всього на 5...20 °С вища, ніж температура зовнішнього повітря.

Рис. 1. Ефективність сонячних колекторів для  $I_k = 665 \text{ Вт/м}^2$ Рис. 2. Ефективність сонячних колекторів для  $I_k = 199 \text{ Вт/м}^2$ 

Плоскі сонячні колектори з селективним покриттям (тип Б) мають дуже низький ККД в зимовий період, тому найбільше підходять для сезонного гарячого водопостачання. У зимовий період часу вони можуть служити джерелом низькопотенційного тепла для теплових насосів.

Вакуумні трубчасті колектори (тип В) прийнятні, перш за все, в тих випадках, коли потрібне тепло з вищою температурою, або коли інтенсивність сонячного випромінювання дуже низька. Вони можуть застосовуватися для цілорічного гарячого водопостачання і для низькотемпературних опалювальних систем (наприклад, тепла підлога, де використовується температура теплоносія до  $45 \text{ }^\circ\text{C}$ ).

Таким чином, під час вибору колектора необхідно враховувати його функціональне призначення (для сезонного нагріву води або для цілорічного використання).

### Порівняння сонячних колекторів за їх площею та продуктивністю

Порівняння сонячних колекторів можна продовжити, використовуючи просту методику розрахунку для сонячних установок з дублером, запропоновану в роботі [2]. Згідно з цією методикою для заданої кількості гарячої води можна обчислити необхідну площу колекторів за формулою:

$$A = \frac{1,16G(t_{w2} - t_{w1})}{\eta \sum_j g_j}$$

Чисельник цього співвідношення визначає кількість тепла (кВт·год), необхідну для підігрівання

$G$  води від температури  $t_{w1}$  до температури  $t_{w2}$ , а знаменник — добуток ККД колектора на сумарну сонячну радіацію, що впала протягом дня на  $1 \text{ м}^2$  поверхні колектора, ( $\text{Вт}\cdot\text{год}/\text{м}^2$  в день).

ККД колектора визначаємо за формулою, що наведена в роботі [3]:

$$\eta = F' \left\{ \eta_0 - \frac{9K_k [0,5(t_1 + t_2) - t_e]}{\sum_j g_j} \right\},$$

де  $F'$  — параметр, який називається ефективністю колектора і що характеризує ефективність перенесення теплоти від поверхні, що поглинає сонячне випромінювання, до теплоносія; типові значення  $F'$ : 0,8...0,9 — для плоских сонячних колекторів, 0,95...1 — для вакуумних СК.

Результати розрахунку показані в табл. 2.

Таблиця 2

**Зміна площі та продуктивність сонячних колекторів по місяцях року**

Місяці	$\sum_j g_j, \text{Вт}\cdot\text{год}/\text{м}^2$	$t_e, \text{°C}$	Плоский колектор: $\eta_0 = 0,8;$ $K_k = 3,5 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$			Вакуумний колектор: $\eta_0 = 0,75;$ $K_k = 1,4 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$		
			$\eta$	$A, \text{м}^2$	$G, \text{л}/\text{доб}$	$\eta$	$A, \text{м}^2$	$G, \text{л}/\text{доб}$
Січень	1788	-1,7	0,19	34,2	25,6	0,5	13	67,4
Лютий	2235	-1,0	0,29	17,9	48,9	0,55	9,4	92,7
Березень	3439	2,6	0,42	7	124,5	0,61	4,8	180,8
Квітень	4394	9,0	0,51	4,5	193,2	0,65	3,6	246,2
Травень	5243	15,5	0,56	3,5	253	0,67	2,89	302,8
Червень	5702	19,4	0,57	2,7	326,9	0,68	2,2	390
Липень	5982	21,4	0,58	2,5	349	0,69	2,1	415,1
Серпень	5533	21,2	0,58	2,7	322,8	0,68	2,3	378,4
Вересень	4645	17,1	0,56	3,9	224,2	0,67	3,3	268,3
Жовтень	3369	11,1	0,48	6,3	139,4	0,64	4,7	185,9
Листопад	1704	5,9	0,25	23,8	36,7	0,53	11,2	77,9
Грудень	1386	1,4	0,12	69,8	12,6	0,47	17,8	49,1

За отриманими даними будемо графік (рис. 3). На графіку криві 1 і 2 показують, відповідно, площу колекторів типів Б і В, необхідну для виробництва 250 л гарячої води з температурою  $45 \text{ °C}$  у різні місяці. З квітня по вересень результати для плоского і вакуумного колекторів дуже близькі, але в холодні місяці спостерігається помітна відмінність. Якщо ми зафіксуємо значення площі рівним  $3,5 \text{ м}^2$ , і визначимо за допомогою тих же співвідношень відповідну продуктивність щодо гарячої води, то отримаємо криві 3 і 4.

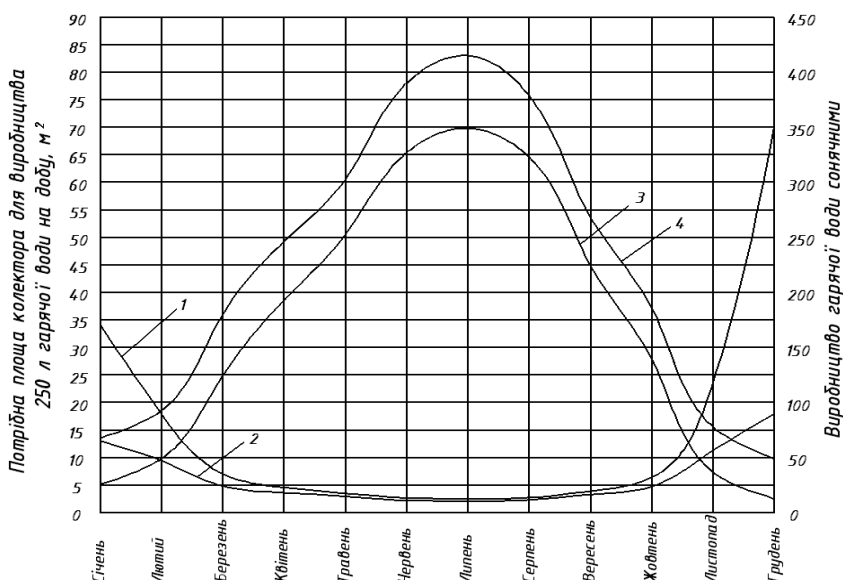


Рис. 3. Зміна площі та продуктивності сонячних колекторів по місяцях

Зрозуміло, з квітня по вересень ми отримаємо надвиробництво гарячої води або її перегрів. На практиці надвиробництво тепла в сонячних установках намагаються не допускати (якщо в системі немає сезонних акумуляторів тепла), тому вклад сонячної енергії у виробництво гарячої води для звичайних сонячних систем планують на рівні не вище 40...70 % річної потреби.

## Висновки

В результаті порівняння сонячних колекторів різних конструкцій за їх ефективністю, площею та продуктивністю, ми визначили найоптимальніші умови їх експлуатації:

— відкриті абсорбери ефективно працюють лише в разі їх використання для сезонного підігрівання води в басейнах, коли необхідна температура води всього на 5...20 °С вища, ніж температуру зовнішнього повітря;

— плоскі сонячні колектори з селективним покриттям мають дуже низький ККД в зимовий період, тому найбільше підходять для сезонного гарячого водопостачання;

— використання вакуумних колекторів для сезонного ГВП не забезпечує переваг перед плоскими колекторами. Більше того, в більшості кліматичних умов з енергетичних міркувань використання плоских СК однаковою з вакуумними габаритною площею є переважним. Переваги вакуумних СК починають виявлятися за високих температур і за низької інтенсивності сонячної радіації, тому їх можна рекомендувати для цілорічного теплопостачання об'єкту.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Харченко Н. В. Индивидуальные солнечные установки / Н. В. Харченко. — М. : Энергоатомиздат, 1991. — 208 с.
2. Установки солнечного горячего водоснабжения. Нормы проектирования: ВСН 52-86. — [действует от 1987-07-01]. — М. : Госгражданстрой, 1988.
3. Магомедов А. М. Нетрадиционные возобновляемые источники энергии / А. М. Магомедов. — Махачкала : Издательско-полиграфическое объединение «Юпитер», 1996. — 245 с.

Рекомендована кафедрою теплоенергетики

Надійшла до редакції 22.12.09  
Рекомендована до друку 10.02.10

*Титар Сергій Семенович* — професор, *Крижна Світлана Фанісівна* — аспірант.

Кафедра теплових електричних станцій та енергозберігаючих технологій, Одеський національний політехнічний університет