

УДК 620.97

О. В. Дорошенко, д. т. н., проф.;**С. С. Титар**, к. т. н., проф.;**Б. Є. Молчанський**, асп.

СОНЯЧНІ ПЛОСКІ МЕТАЛОПОЛІМЕРНІ КОЛЕКТОРИ

Розроблено основи конструювання металополімерних сонячних колекторів на основі багатощарових багатоканальних структур, що створюються для сонячних систем теплохолодозабезпечення та кондиціювання повітря. Виконано цикл порівняльних досліджень, що підтвердив ефективність запропонованих рішень.

Вступ

Попит на енергоносії постійно зростає, а запаси традиційних видів енергоносіїв зменшуються, добувати їх стає складніше, що обумовлює зростання цін на енергію. Збільшення енергоспоживання має й негативні екологічні наслідки. З цих причин є доцільним перехід, де це можливо, на альтернативні джерела енергії. Але частка нетрадиційних видів енергії поки лишається незначною. Одним з перспективних напрямків використання нетрадиційних видів енергії є використання енергії Сонця. Автори розглядають можливість використання полімерних матеріалів в конструкції термічного сонячного колектора (СК) та можливі напрямки розвитку його конструкції.

СК — основний елемент сонячної установки, в якому сонячне випромінювання перетворюється в теплову енергію. Всі сонячні колектори мають загальний елемент — поверхневий або об'ємний поглинач тепла, яке може відводитися з колектора, або акумулюватися в ньому. СК першого типу називаються проточними, другого типу — з тепловим акумулятором. За видом теплоносія розрізняють рідинні та повітряні колектори; за рівнем температури, що досягається: низькотемпературні (до 100 °С), середньотемпературні (до 200 °С) та високотемпературні. Температура нагріву теплоносія прямо пропорційна інтенсивності сонячної енергії та обернено пропорційна тепловим втратам в навколишнє середовище. Найбільшого поширення в світовій практиці набули плоскі СК (flat plate solar collector) через простоту конструкції і відносно невисоку ціну. До їх принципних переваг, в порівнянні з колекторами інших типів, відноситься їх здатність уловлювати як пряму, так і розсіяну сонячну енергію і, як наслідок цього, з'являється можливість використання стаціонарної установки без необхідності в складних системах стеження за Сонцем. Абсорбер плоского СК, як правило, виготовляється з матеріалу з високою теплопровідністю (сталі, алюмінію, міді). Для низьких робочих температур його можна також виготовити з пластмаси або гуми. Прозорою ізоляцією є одне чи два скла. Замість скла можливе використання полімерної плівки. У разі низької температури нагріву теплоносія (до 30 °С) колектор може зовсім не мати прозорої ізоляції. Корпус СК може бути виготовлений з оцинкованого заліза, алюмінію, дерева, пластику. В якості теплової ізоляції можуть застосовуватися різні матеріали: мінеральна вата, пінополіуретан тощо. Низькотемпературні проточні колектори мають поверхневий поглинач і конструктивно можуть виконуватися як з відкритим потоком теплоносія, так і трубним регістром, усередині якого рухається теплоносії.

Мета роботи — визначити доцільність використання полімерних матеріалів під час встановлення плоских сонячних колекторів.

Теоретичні дослідження

Математична модель геліосистеми з примусовою циркуляцією теплоносія спрощується, у порівнянні з системою з природною циркуляцією, що описана в [1], тому що витрати теплоносія тут не є параметром, що визначається. Зі зростанням витрат теплоносія у системі зростає її ККД, але одночасно зростають витрати енергії на переміщення теплоносія. На практиці, частіше за все, обирають витрати, виходячи зі співвідношення $GC_A/F_{СК}U = 2 - 4$, де (G , C_A — витрати та теплоємність теплоносія, відповідно; $F_{СК}$ — площа поверхні теплоприймача; U — коефіцієнт теплових втрат). Це відповідає ефективності СК на рівні 86...90 % від максимально можливої за існуючих зовнішніх умов [2].

Моделюючи геліосистеми з примусовою циркуляцією обирають два підходи. Один базується

на великомасштабному усередненні характеристик геліосистем на основі накопичених експериментальних даних. При цьому досить легко отримати результати, однак з причин низької точності вони можуть бути використані тільки для орієнтованого визначення теплової продуктивності геліосистеми. Другий підхід базується на рішенні диференціальних рівнянь і дозволяє досить достовірно передбачити часові залежності теплових характеристик геліосистем з урахуванням їх конструктивних особливостей та природних умов, що змінюються. Нижче розглядаються обидва підходи.

ККД геліосистеми можна розрахувати з формули [2]

$$\eta = 0,8 \left\{ \theta - 9U \frac{[0,5(t^{\text{вих}} + t^{\text{вх}})] - t_{\text{н}}}{\sum_i J_i} \right\}, \quad (1)$$

де 0,8 — коефіцієнт, що враховує забруднення прозорого покриття (ПП) сонячного колектора; θ — оптичний ККД; U — коефіцієнт теплових втрат у сонячному колекторі, обумовлений механізмами конвекції та випромінювання, Вт/(м²·К); $t^{\text{вх}}$, $t^{\text{вих}}$ — температури теплоносія на вході і на виході колектора, °С; $t_{\text{н}}$ — середня денна температура повітря, °С; J_i — інтенсивність сонячного випромінювання Вт/м² (складання проводиться по годинах світлового дня).

Для зовнішньої поверхні сонячного колектора над його прозорим покриттям (індекси: Н — для навколишнього середовища, П — для прозорого покриття) можна використати залежності [1]

$$\alpha_{\text{ПН}}^{\text{К}} = (5,7 + W); \quad (2)$$

$$\alpha_{\text{ПН}}^{\text{П}} = \varepsilon_{\text{П}} \cdot \sigma (T_{\text{П}} + T_{\text{Н}}) (T_{\text{П}}^2 + T_{\text{Н}}^2), \quad (3)$$

де $\alpha^{\text{К}}$, $\alpha^{\text{П}}$ — конвективна та випромінююча складові коефіцієнта тепловіддачі, Вт/(м²·К); W — швидкість повітря над ПП сонячного колектора, м/с; $\varepsilon_{\text{П}}$ — ступінь чорноти; σ — постійна Стефана-Больцмана, Вт/(м²·К⁴).

На рис. 1. показана принципова компонована схема полімерного сонячного колектора СК-П на основі багатоканальних багатоярусних структур з полікарбонатних плит.

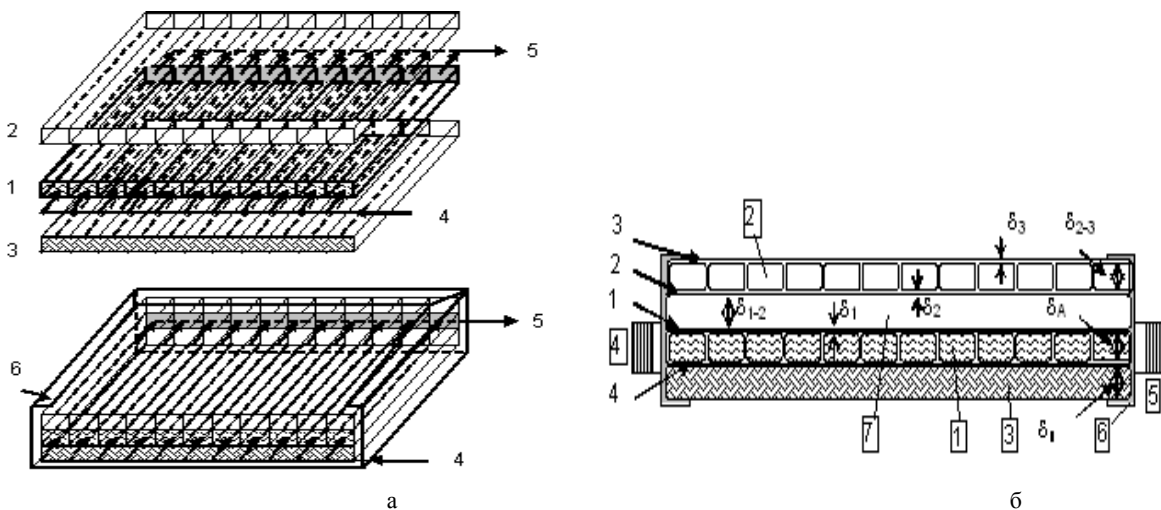


Рис. 1. Принципова компонована схема полімерного сонячного колектора СК-П на основі багатоканальних багатоярусних структур з полікарбонатних плит:

- а — компоновка СК-П (колектор триярусний з полікарбонатних плит з багатоканальною структурою регулярного характеру. В кожному ярусі, верхній (орієнтований до Сонця) ярус утворює прозору ізоляцію, середній утворює теплоприймач (абсорбер) для руху теплоносія, нижній — теплоізолюючий шар);
 б — сонячний колектор у зборі: 1 — теплоприймач (абсорбер); 2 — прозора ізоляція; 3 — теплоізоляція; 4, 5 — вхід та вихід води; 6 — корпус колектора; 7 — повітряний зазор

Для усіх внутрішніх порожнин колектора (для повітряного зазору між поверхнею теплоприймача та нижньою поверхнею прозорого покриття (δ_{1-2}), для повітряного простору внутрішніх каналів ПП (δ_{2-3}) та для поверхні теплоприймача (див. рис. 1)) можна використати залежності [2]

$$\alpha_{АП}^K = \left[1 - 0,0018 \left(\frac{T_A}{2} + \frac{T_{П}}{2} - 10 \right) \right] \left[1 - (\beta - 45)(0,00259 - 0,00144\epsilon_{П})1,14 \frac{(T_A - T_{П})^{0,31}}{\delta_{АП}^{0,07}} \right]; \tag{4}$$

$$\alpha_{АП}^P = \sigma(T_A + T_{П}) \cdot \frac{T_A^2 + T_{П}^2}{\frac{1}{\epsilon_A} + \frac{1}{\epsilon_{П}} - 1}, \tag{5}$$

де β — кут нахилу СК до горизонту, град; $\delta_{1-2(A-П)}$ — повітряний зазор, мм.

Термічні опори визначають коефіцієнт втрат за формулою

$$U_i = \frac{1}{R_i}, \tag{6}$$

де U_i — коефіцієнт втрат на кожній ділянці СК, Вт/(м²·К); R_i — термічний опір на кожній ділянці СК, (м²·К)/Вт.

Величина сумарного коефіцієнта втрат для плоского СК з одним прозорим покриттям визначає ефективність СК і може бути розрахована з формули

$$U_{\Sigma} = \frac{1}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4}. \tag{7}$$

Для теплоприймача (абсорбера) треба додати розрахунки втрат, які можна виконати з використанням відомих критеріальних залежностей $Nu = f(Re, Pr)$.

Аналіз результатів

Випробування на стенді (рис. 2) мали порівняльний характер і дозволяли визначити реальні характеристики колекторів, що порівнюються, незалежно від погодних умов, оскільки проводилися одночасно.

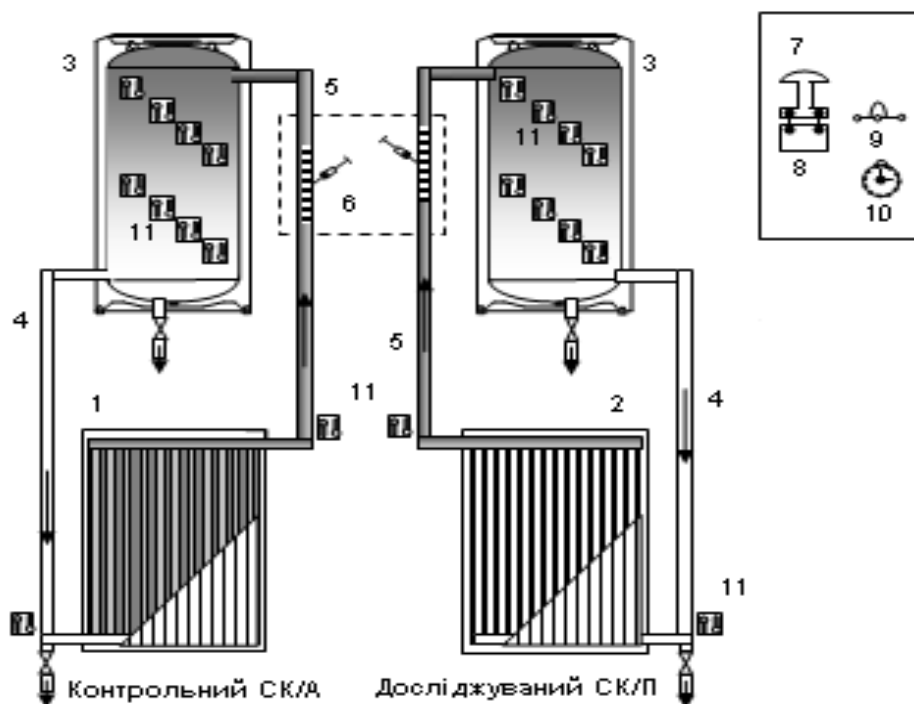


Рис. 2. Експериментальний стенд: 1, 2 — сонячні колектори, що порівнюються; 3 — баки-теплоакумулятори; 4, 5 — опускний і підйомний трубопроводи; 6 — вимірювач витрат рідини; 7 — пірометр; 8 — гальванометр; 9 — анемометр; 10 — секундомір; 11 — блок ртутних термометрів та термометрів опору

На рис. 3 показані порівняльні характеристики різних типів водяних СК. Характеристики СК наведені у стандартному вигляді залежності η від приведеної температури ($\eta = f(T_{ПР})$), де

$$T_{\text{ПР}} = [0,5(t_{\text{вих}} + t_{\text{вх}}) - t_{\text{Н}}] / J. \quad (8)$$

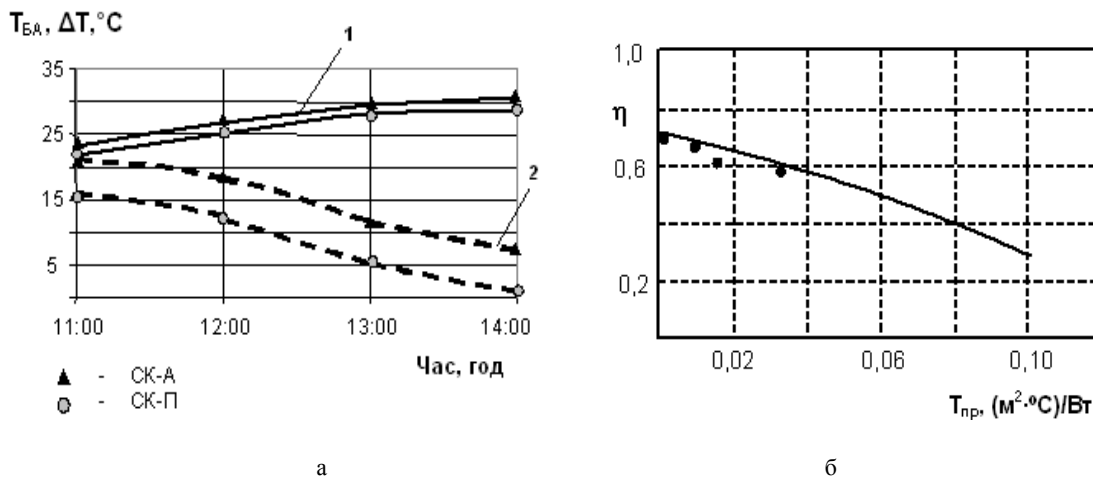


Рис. 3. Порівняльні характеристики різних типів водяних СК:

а — робочі характеристики алюмінієвого та полімерного СК: 1 — середня температура у баці-акумуляторі; 2 — різниця температур на вході та виході з СК; б — експериментальний коефіцієнт корисної дії традиційного металевих СК-А (суцільна лінія) і полімерного СК-П (данні авторського дослідження)

Очевидно, що характеристики полімерного СК знаходяться на рівні характеристик плоских сонячних колекторів традиційного типу з трубчастим регістром з алюмінієвих труб. Характеристики сонячних колекторів традиційного типу СК-А переважають характеристики СК-П (у середньому розбіжність за температурою у кінці дня складає 7...14%). Це пов'язано з дещо гіршою світлопропускною здатністю полікарбонату, у порівнянні зі склом, та меншим коефіцієнтом теплопровідності полікарбонату, у порівнянні з алюмінієм (телоприймач СК).

Висновки

1. Вирішено питання доцільності використання полімерних матеріалів (полікарбонат) для виготовлення плоских сонячних колекторів. Характеристики таких колекторів поступаються характеристикам традиційних металевих колекторів на 7...14%, але маса та ціна роблять їх перспективними.

2. Розроблено математичну модель теплопереносу у структурі багатозарового та багатоканального сонячного колектора нового типу, що побудована з урахуванням радіаційних та конвективних складових процесу реальних втрат теплоти.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Горин А. Н. Солнечная энергетика. (Теория, разработка, практика) / А. Н. Горин, А. В. Дорошенко, М. А. Глауберман. — Донецк : Норд-Пресс, 2008. — 374 с.
2. Daffi J. A. Heat processes with the use of solar energy / J. A. Daffi, Y. A. Beckman. — Moscow : Mir., 1977. — 566 p.

Рекомендована кафедрою теплогазопостачання

Надійшла до редакції 16.02.10
Рекомендована до друку 18.03.10

Дорошенко Олександр Вікторович — професор Одеської державної академії холоду;

Титар Сергій Семенович — професор, **Молчанський Борис Євгенович** — аспірант.

Кафедра теплових електричних станцій та енергозберігаючих технологій, Одеського національного політехнічного університету