

Автореферат
Ш52

Одеська державна академія холоду

ШЕСТОПАЛОВ КОСТЯНТИН ОЛЕКСАНДРОВИЧ

УДК 662.997

**ТЕПЛОТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ
ПОЛІМЕРНИХ СОНЯЧНИХ КОЛЕКТОРІВ ДЛЯ СИСТЕМ
ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ**

**Спеціальність 05.14.06 – Технічна теплофізика та
промислова теплоенергетика**



АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Одеса – 2005

Дисертація є рукописом

Робота виконана в Одеській державній академії холоду Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник – доктор технічних наук, професор кафедри технічної термодинаміки Одеської державної академії холоду Дорошенко Олександр Вікторович

Офіційні опоненти – доктор технічних наук, професор кафедри інженерної теплофізики Одеської державної академії холоду Железний Віталій Петрович

доктор технічних наук, професор Ткаченко Станіслав Йосипович, завідувач кафедри промислової енергетики, Вінницький політехнічний університет.

Провідна організація – Одеський національний політехнічний університет МОН України

Захист дисертації відбудеться «17» жовтня 2005 р. об 11 годин в ауд. 108 на засіданні спеціалізованої вченої ради Д.41.087.01 в Одеській державній академії холоду за адресою: вул. Дворянська, 1/3 м. Одеса, 65026, Україна.

вул. Дворянська, 1/3 м.

Мілованов В.І.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

ІНСТИТУТ
ОНАХТ
БІБЛІОТЕКА

Актуальність теми. Необхідними умовами розвитку економіки є ефективне використання паливно-енергетичних ресурсів і використання енергозберігаючих технологій. Використання поновлюваних джерел енергії (ПДЕ) в енергетичних системах більшості країн світу стає все більш суттєвим і до 2010 року деяких країнах може досягнути 12%. Сонячна енергія є одним із видів ПДЕ, яка найбільш широко використовується. Енергія Сонця може використовуватися для одержання тепла і холоду.

Використання традиційних матеріалів (чорних і кольорових металів) в конструкції плоских сонячних колекторів (СК) – основних елементів геліосистем – робить їх дорогими і екологічно несприятливими. Використання полімерних матеріалів (ПМ) в СК дозволить знизити їх вартість і зменшити шкідливий екологічний вплив на навколишнє середовище. В цей час у світі відмічається значний інтерес до можливості використання ПМ у складі конструкції СК.

Вибір прийнятних ПМ для задач сонячної енергетики, враховуючи особливості роботи сонячних систем у відкритому середовищі, конструювання полімерних СК, визначення їх теплотехнічних і оптичних характеристик, моделювання робочих процесів в сонячних системах та їх основних елементах, включаючи СК нового типу, де в якості абсорбера і прозорого покриття використовуються полімерні стільникові структури, уявляє собою актуальну науково-технічну задачу.

Дисертаційна робота виконана відповідно таких законодавчих актів: Постанови Верховної Ради України №75/94-ВР від 1.07.94р. що затвердила “Закон України про енергозбереження”, Постанови Кабінету Міністрів України №148 від 5.02.97 р. “Про комплексну державну програму енергозбереження України”, Постанови Кабінету Міністрів України №583 від 14.04.99 р. “Про Міжвідомчу комісію із забезпечення виконання Рамкової Конвенції ООН про зміну клімату”, Листа Державного Комітету України з Енергозбереження №38 4/3 від 22.01.00 р. по підготовці енергозберігаючих проектів з метою зниження шкідливих викидів парникових газів, а також згідно з розпорядженням Одеської обласної державної адміністрації №493/А-2003 від 13 червня 2003 р.

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є створення нового покоління СК на основі ПМ, які відрізняються високою ефективністю, надійністю, малою вагою і вартістю, розвиток теоретичних уявлень про сонячні системи теплопостачання, розробка сонячних систем різного призначення на основі нових типів СК и виробка науково-технічних рекомендацій по їх впровадженню і експлуатації на вітчизняному ринку енергетичних ресурсів, зменшення матеріалоемності і зростання енергозберігаючих та екологічних характеристик.

Для досягнення мети визначені наступні задачі:

Одеська державна
БІБЛІОТЕКА

1. Аналіз тенденцій розвитку сонячної енергетики і розробка нового покоління СК на основі полімерних матеріалів в їх конструкції.
2. Моделювання робочих процесів в сонячних системах в цілому і в їх основних елементах. на основі уточнених уявлень про характер руху теплоносія в стільникових структурах колекторів (абсорбері) і механізм теплових втрат.
3. Дослідження закономірностей теплопереносу в полімерних стільникових структурах при течії рідкого теплоносія та при її відсутності.
4. Розробка методів інтенсифікації процесів теплообміну у нових полімерних СК з стільниковою структурою абсорберу та прозорого покриття, а також методів розрахунку та конструювання геліосистем.
5. Проведення циклу порівняльних натурних випробувань традиційних і нових СК, включаючи перехідний тип металево-полімерного СК, одержання експериментальних даних та їх узагальнення для забезпечення розрахунку і конструювання нових систем.
6. Практична реалізація сонячних систем з новими типами СК, накопичення і узагальнення досвіду практичного використання подібних систем в умовах України.
7. Проведення екологічної оцінки і комерційної конкурентоспроможності нових СК з ПМ.

Об'єктом дослідження є сонячні системи теплопостачання з СК різних модифікацій.

Предметом дослідження є робочі процеси у ССГВ, а також характеристики СК нового покоління.

Методи дослідження: теоретичне вивчення, математичне і комп'ютерне моделювання, експериментальне дослідження на натурних зразках СК, апроксимація масиву табличних (експериментальних) даних, експериментальна апробація комп'ютерних розрахунків на діючому обладнанні.

В дисертації захищаються такі **наукові положення:**

1. Величина сумарного коефіцієнту втрат полімерного колектора (U_{Σ}), що визначається радіаційним і конвективним механізмом переносу тепла, якісно відповідає втратам в традиційних металевих колекторах з подвійним осклінням, при цьому – градієнтом температури теплоносія по периметру каналу можна знехтувати; температура кожного покриття змінюється тільки за напрямком руху теплоносія; поглинання сонячної енергії покриттями колектора практично не впливає на втрати колектора.
2. Процеси переносу тепла у прозорому покритті, в абсорбері СК і в рідині, що циркулює по термосифонному контуру та в каналах СК, можуть описуватися стаціонарними наближеннями, в той час як температурне поле по висоті ємності бака-теплоакумулятора протягом часу повинно описуватися у рамках нестационарної крайової задачі теплопровідності.

Наукова новизна роботи визначається такими результатами:

- Виконано математичне моделювання сонячних систем на основі полімерних СК, що враховує найбільш суттєві фактори теплових і гідродинамічних процесів, які проходять у кожному з елементів системи при їх взаємодії (характер течії теплоносія в полімерному абсорбері із стільниковою структурою каналів, роль полімерного прозорого покриття СК, в якості прозорої ізоляції та інш.).
- Розроблено рекомендації по конструюванню СК із ПМ (у варіантах металево-полімерному і полімерному) з урахуванням важливіших для сонячної енергетики якостей ПМ.
- Показано, що величина сумарного коефіцієнту втрат полімерного колектора СК-П (U_{Σ}) зростає не більш ніж на 10%, порівняно з традиційним СК з металевим теплоприймачем (абсорбером).
- Експериментально показано, що частковий перехід (металево-полімерний СК), або повний перехід на полімерні матеріали в конструкції СК-П знижує ефективність колекторів не більш ніж на 10% (по характеристиці $\eta=f(T_{np}=(t_1-t_0)/J)$), порівняно з традиційним СК з металевим теплоприймачем, при цьому істотно, в 4-5 раз знижуючи вагу і в декілька раз знижуючи вартість полімерних СК.
- На основі сучасних методів екологічної оцінки і прогнозування (повний життєвий цикл – Life Cycle Assessment - LCA, методології Eco-Indicator 95 і пакета програм "SimaPro-5") показано екологічні переваги полімерних СК порівняно з традиційним типом металевих (алюмінієвих) СК.
- Розроблено нові схемні і конструктивно-компоновочні рішення в області сонячних систем, які дозволяють їх інтегрувати у діючих системах теплопостачання.

Практичне значення одержаних результатів полягає в розробці практичних рекомендацій по розрахунку і конструюванню сонячних систем теплопостачання (гарячого водопостачання та опалення), в створенні нового покоління полімерних і металево-полімерних СК, у впровадженні таких систем (ССГВ) різної потужності і конфігурації на низці об'єктів України та Криму.

Особистий внесок здобувача полягає в розробці математичної моделі сонячної системи гарячого водопостачання, проведенні розрахунків, в створенні експериментального стенду і в проведенні випробувань, в підготовці впровадження ССГВ на низці об'єктів України і Криму у складі інженерної групи НВФ "Нові Технології", а також в накопиченні і узагальненні досвіду практичної експлуатації сонячних систем і виробі рекомендацій по їх конструюванню.

Апробація результатів дисертації. Основні результати роботи були представлені на: II Міжнародній науково-технічній конференції "Сучасні проблеми холодильної техніки і технології", м. Одеса, 2002; науково-технічній аспірантській конференції "Сучасні проблеми низькотемпературної техніки", м. Одеса, 2002; II Міжнародній науково-технічній конференції

“Низькотемпературні і харчові технології у XXI віці”, м. Санкт-Петербург, 2003; науково-практичній конференції “Енергозберігаючі технології в будівництві та архітектурі”, м. Одеса, 2004.

Публікації. По темі дисертації опубліковано 9 наукових праць, з них 5 друкованих праць в науково-технічних журналах і 4 повних текстів доповідей на міжнародних і науково-практичних конференціях.

Об’єм і структура дисертації. Дисертація викладена на 174 сторінках друкарського тексту, включаючи 65 рисунків, 18 таблиці і складається із вступу, чотирьох розділів, списку літератури із 114 найменувань і додатків на 10 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** відображено актуальність проблеми, сформульовано мету і задачі дослідження, що випливають із сучасного стану сонячної енергетики в світі і в Україні, сформульовано наукові положення, наукова новизна, основні результати роботи і визначена її практична цінність. Наведені відомості про публікації автора і апробації результатів досліджень.

У **першому розділі** проаналізовано сучасні взаємопов’язані проблеми екології та енергетики, розглянуто основні види поновлюваних джерел енергії. Проведений аналіз показав, що в теперішній час для України, і особливо для її південних регіонів, найбільш перспективним є використання сонячної енергетики для житлово-комунального сектора в системах тепло- і холодопостачання. Вивчено основні типи СК і геліосистем, їх характеристики та області використання. Найбільш поширеним колектором сьогодні в світі є плоский металевий СК. Враховуючи екологічні аспекти і рівень попульної здібності населення та низку інших факторів, була поставлена задача про використання полімерних матеріалів в конструкції СК.

Другий розділ присвячений аналізу світового досвіду у використанні ПМ в складі основних елементів сонячних систем, розрахункам і моделюванню робочих процесів у новому полімерному колекторі сонячної енергії і основних елементах сонячної системи в цілому.

Проведено аналіз полімерних матеріалів, які використовуються в сонячній енергетиці, вивчено їх властивості та виявлено найбільш перспективні матеріали (полікарбонат, акрил, поліпропілен, ПВХ). В якості основних вимог до таких матеріалів визначено: стійкість до УФВ, ударостійкість та оптичні властивості. Розглянуто проблеми, що виникають у СК при впровадженні ПМ та шляхи їх розв’язання. Відправним пунктом роботи було взято металевий СК-А з алюмінієвим трубним регістром, структура якого представлена на рис.1А. Проміжним кроком на шляху створення полімерного СК була розробка металево-полімерного СК. В ньому замість скла використовується плита стільникового полікарбонату (рис. 1Б), а в якості абсорбера

використовувався трубний регістр із мідних труб, закріплених на металевому листі. Другим кроком було створення СК із ПМ, в конструкції якого для створення прозорого покриття і абсорбера використовувалися плити стільникового полікарбонату різних товщин (рис. 1В).

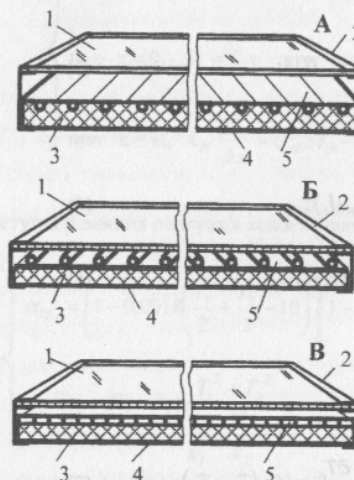


Рис. 1. Схематичне зображення структури випробуваних колекторів: А – алюмінієвий СК (СК-А), Б – металево-полімерний СК (СК-М), В – полімерний СК (СК-П)

1 – прозоре покриття, 2 – корпус, 3 – теплова ізоляція; 4 – дно; 5 – абсорбер

використовується нестационарними рівняннями теплопроводності для кожного елемента установки, а також рівнянням руху рідини, що циркулює по термосифонному контуру. При тепловому розрахунку водонагрівальної системи для рівнянь теплопроводності покриття, стінок абсорбера і рідини в його каналах та трубопроводах можна використовувати стаціонарні наближення, в той час, як для БТА розглядаваної системи, розподілення температурного поля по висоті ємності з протягом часу повинно описуватися нестационарними рівняннями.

Математична модель геліосистеми в квазістаціонарному наближенні виявляється такою диференційною задачею:

1) для покриття:

$$U_{\text{пл}}(T_A - T_n) + U_{\text{но}}(T_o - T_n) = 0; \quad (1)$$

2) для приймальної пластини:

$$\lambda_A \delta_A \frac{d^2 T_A}{d y^2} + 13,7 \frac{\lambda_{ж}}{w} (T_{ж} - T_A) + J - \alpha_{\text{до}}^p (T_A - T_o) - U_{\text{пл}} (T_A - T_n) = 0; \quad (2)$$

$$\text{при } y=0, y=l_k, \quad \frac{dT_A}{dy} = 0;$$

3) для рідини у трубах колектора:

$$c_{ж} \frac{G_{ж}}{n} \frac{dT_{ж}}{dy} = 13,7 \lambda_{ж} (T_A - T_{ж}); \quad \text{при } y=0, T_{ж} = T_2(l_2); \quad (3)$$

4) для під'ємного та опускного трубопроводів:

$$c_{ж} G_{ж} \frac{dT_1}{dy} = U_{10} \pi d_1 (T_0 - T_1); \quad \text{при } y=0, T_1 = T_{ж}(l_k); \quad (4)$$

$$c_{ж} G_{ж} \frac{dT_2}{dy} = U_{10} \pi d_1 (T_0 - T_2); \quad \text{при } y=0, T_2 = T_{ж}(\tau, H); \quad (5)$$

5) для бака-теплоакумулятора:

$$c_{ж} \rho_{ж} f_b \frac{\partial T_b}{\partial \tau} + c_{ж} G_{ж} \frac{\partial T_b}{\partial z} = \lambda_{ж} f_b \frac{\partial^2 T_b}{\partial z^2} + U_{\text{вб}} P_b (T_A - T_b); \quad (6)$$

$$\text{при } \tau=0, T_b = T_0; \text{ при } z=0, T_b = T_1(l_1); \text{ при } z=H, \lambda_{ж} \frac{\partial T_b}{\partial z} = U_{\text{вб}} (T_0 - T_b); \quad (7)$$

6) рівняння руху:

$$k_{ж} G_{ж} = g \rho_0 \beta \sin \theta_k \int_0^{l_k} (T_{ж}(y) - T_2(l_2)) dy. \quad (8)$$

В підсумку одержано:

Для теплового розрахунку колектора:

$$\begin{cases} T_{ж}(y) = c_1 e^{\lambda_1 y} + c_2 e^{\lambda_2 y} + c_3 e^{\lambda_3 y} + \frac{J}{\alpha_{ж0} \lambda_A \delta_A} + T_0; & T_A = \frac{1}{g_{ж}} \frac{dT_{ж}}{dy} + T_{ж}; \\ T_{\text{п}} = \frac{U_{\text{ап}} T_A + U_{\text{по}} T_0}{U_{\text{ап}} + U_{\text{по}}}; & \alpha_{ж0} = \left(\alpha^p + \frac{U_{\text{ап}} U_{\text{по}}}{U_{\text{ап}} + U_{\text{по}}} \right); & g_{ж} = 13,7 \frac{n \lambda_{ж}}{c_{ж} G_{ж}}. \end{cases} \quad (9)$$

Для теплового розрахунку під'ємного та опускного трубопроводів:

$$\begin{cases} T_1(y) = (T_{ж}(l_k) - T_0) \exp(-\chi_1 y) + T_0, & \chi_1 = \frac{U_{10} \pi d_1}{c_{ж} G_{ж}}, \\ T_2(y) = (T_{ж}(\tau, H) - T_0) \exp(-\chi_2 y) + T_0, & \chi_2 = \frac{U_{10} \pi d_2}{c_{ж} G_{ж}}. \end{cases} \quad (10)$$

Для визначення витрати рідини:

$$G_{ж} = 0,4384 g \frac{\rho_0 \beta}{k_{ж}} \left[\sum_{i=1}^3 \frac{c_i}{\lambda_i} (\exp(\lambda_i l_k) - 1) - l_k \right]. \quad (11)$$

Для розрахунку температури рідини у баці-теплоакумуляторі:

$$\begin{cases} c_{ж} \rho_{ж} f_b \frac{\partial T_b}{\partial \tau} + c_{ж} G_{ж} \frac{\partial T_b}{\partial z} = \lambda_{ж} f_b \frac{\partial^2 T_b}{\partial z^2} + U_{\text{вб}} P_b (T_0 - T_b); \\ \text{при } \tau=0, T_b = T_0; \quad \text{при } z=0, T_b = T_1(l_1); \\ \text{при } z=H, \lambda_{ж} \frac{\partial T_b}{\partial z} = U_{\text{вб}} (T_0 - T_b). \end{cases} \quad (12)$$

Наступні рівняння описують конвективні та радіаційні втрати у структурі СК:

$$\begin{cases} \alpha_{12}^k = \left[1 - 0,0018 \left(\frac{T_1}{2} + \frac{T_2}{2} - 10 \right) \right] \left[1 - (\beta - 45)(0,00259 - 0,00144 \varepsilon_n) 1,14 \frac{(T_1 - T_2)^{0,31}}{\delta_{12}^{0,07}} \right], \\ \alpha_{12}^p = \sigma (T_1 + T_2) \frac{T_1^2 + T_2^2}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1}, \end{cases} \quad (13)$$

$$\begin{cases} \alpha_{\text{по}}^k = 5,7 + 3,8 \cdot W; \\ \alpha_{\text{по}}^p = \varepsilon_n \sigma (T_{\text{п}} + T_0) (T_{\text{п}}^2 + T_0^2). \end{cases} \quad (14)$$

Для полімерного СК (розрахункова схема подана на рис. 2), аналогічним шляхом було отримано систему рівнянь, де величина U означає локальну величину коефіцієнту втрат тепла за рахунок конвективного і радіаційного потоку тепла (рівняння (13) – (14)):

$$\begin{cases} U_{30} (T_3 - T_0) = U_{23} (T_2 - T_3); \\ U_{23} (T_2 - T_3) = U_{12} (T_1 - T_2); \\ -\alpha_{1,ж} (T_1 - T_{ж}) = U_{12} (T_1 - T_2); \\ -\alpha_{\text{п}}^p (T_A - T_1) - \alpha_{\text{п}}^k (T_A - T_{ж}) + J = -U_{\text{п}}^{\text{вб}} (T_0 - T_A); \\ c_{ж} \delta_a \rho_{ж} V_{ж} \frac{dT_{ж}}{dx} = \alpha_{ж}^- (T_1 - T_{ж}) + \alpha_{\text{п}}^+ (T_A - T_{ж}); \\ \text{при } x=0, T_{ж} = T_0. \end{cases} \quad (15)$$

Розрахунок проведено для усіх трьох типів СК: традиційного (СК-А), переходного металево-полімерного (СК-М) та полімерного (СК-П).

Програмування алгоритму розрахунку проводилось в середовищі MatLAB. На рис.3 подано розрахункові значення коефіцієнта сумарних теплових втрат для СК-П. На рис. 4 наведені розрахункові дані для температури теплоносія у верхній частині БТА і для витрати через СК.

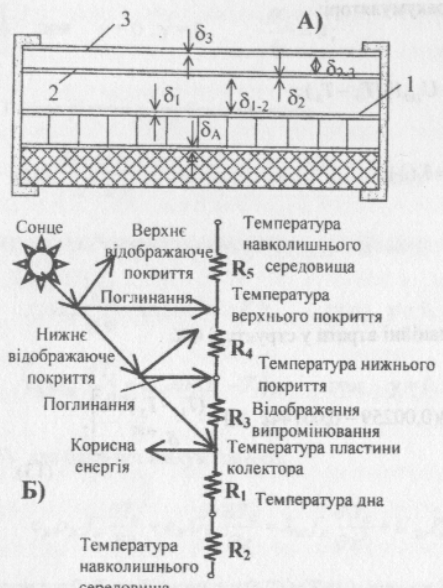


Рис. 2. Розрахункова схема СК-П (рис. А) і його характерний тепловий ланцюг (рис. Б)

визначення працездатності СК, визначення стійкості до високих температур, проведення тесту на старіння, піддавання зовнішньому і внутрішньому термічному шоку, перевірку на герметичність, перевірку удароміцності прозорого покриття, перевірку міцності СК на навантаження (кутові та осьові), перевірку вентиляємості.

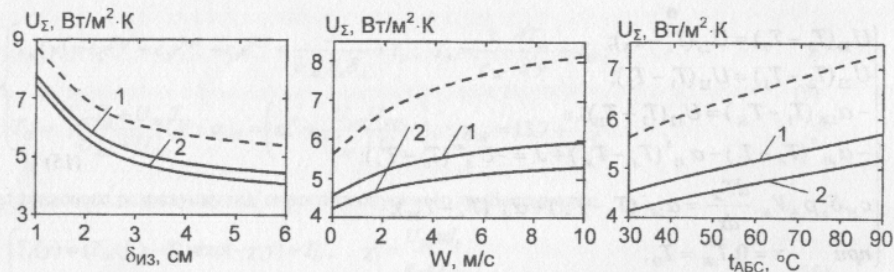


Рис. 3. Залежність коефіцієнту сумарних теплових втрат від товщини теплової ізоляції, від швидкості повітря і від температури абсорбера для СК-А (---) і СК-П (—) з прозорим покриттям 4 і 8 мм (лінії 1 і 2)

На основі аналізу указаних стандартів була розроблена методика випробувань СК різних модифікацій і виконано відповідні дослідження випробувальних зразків колекторів. Аналізуючи результати, одержані за методиками стандартних випробувань СК, було запропоновано в

Одержані розрахункові залежності добре погоджуються з експериментальними даними (розбіг не більш 5%).

Третій розділ роботи присвячений аналізу результатів експериментальних досліджень, проведених на стенді (випробувальному полігоні) в період з 2000 по 2004 р. Наведена методика експериментального дослідження, схема експериментального стенда і програма досліджень.

Були проаналізовані основні методики випробувань європейських дослідницьких центрів по стандартах ISO 9806-2, prEN 12975-1 і prEN 12975-2, DIN V 4757-3. Основні пункти тестування колекторів включають: перевірку абсорбера на витримання тиску,

конструкції традиційного СК замінити скло на панель прозорого стільникового полікарбонату, тому що вона має декілька переваг: міцніша і легша.

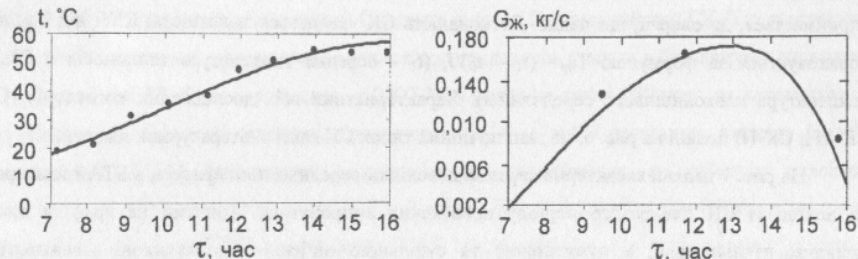


Рис. 4. Зміна динамічних характеристик роботи СК-А для 10.09.01

Основною задачею експериментів було одержання робочих характеристик нових розроблених типів СК і пряме безпосереднє порівняння динамічних характеристик роботи двох СК, що працюють при однакових метеорологічних умовах (пориви вітру, хмарність та інш.).

Стенд (рис. 5) складається з двох аналогічних установок. Кожна з установок складається з СК, БТА, з'єднувальних ізольованих трубопроводів. Термопарами вимірювалася температура в десяти точках кожної системи: на вході і на виході із СК, шість термопар по висоті БТА, одна – в ізоляції БТА, одна – на повітрі. Рівень сонячної радіації вимірювали пірметром. Витрати теплоносія вимірювали по швидкості руху зафарбованої рідини в контрольній скляній трубці. Всього протягом 2000 – 2004 р. було проведено понад 220 випробувань, в кожній серії яких досліджувались порівняльні характеристики декількох СК.

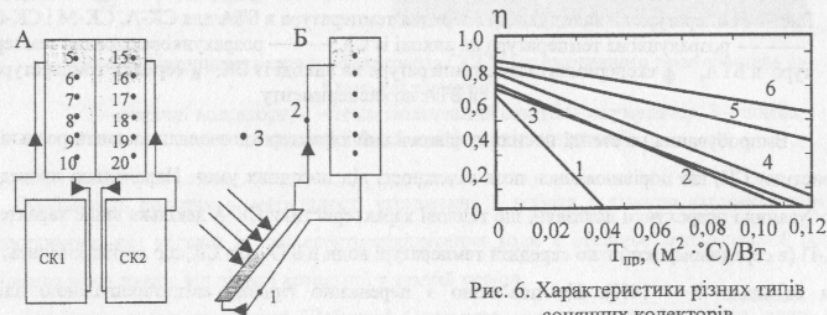


Рис. 5. Принципова схема експериментального стенду: А – вид спереду, Б – вид збоку. Цифрами вказано місця установки термопар.

Рис. 6. Характеристики різних типів сонячних колекторів
1 – СК для басейнів (без прозорого покриття); 2 – СК-П і СК-М; 3 – СК-А; 4 – СК з селективним покриттям; 5 – СК з вакуумними трубами; 6 – СК з концентраторами.

Значна частина випробувань була проведена в осінній період вказаних років, що частково обумовлювалось можливістю їх проведення, але в основному переслідувалася ціль виявлення несприятливих погодних умов у самий тяжкий період роботи ССГВ, з урахуванням підвищення

вітронавантажень і хмарності. Якісною характеристикою, яка визначає досконалість конструкції СК, є його ККД. Для сонячного колектора ККД визначається як співвідношення енергії, що сприймається, до енергії, що падає. Досконалість СК уявляється залежністю ККД від $T_{пр}$, де $T_{пр}$ обраховується за формулою $T_{пр} = (t_1 - t_0)/J$, (t_1 – середня температура теплоносія в СК, t_0 – температура навколишнього середовища). Характеристики всіх досліджених колекторів (СК-А, СК-М і СК-П) подані на рис. 6, де дані по інших типах СК взяті з літературних джерел.

На рис. 7 надана характерна картина поведінки середньої температури в БТА і температури на виході із СК для всього періоду проведення випробувань. Точками на графіку показані експериментальні дані, а пунктирною та суцільною лінією – розрахункові залежності, що визначаються по моделі, описаною у розділі 2. З рис. 7 видно, що розрахункові і експериментальні дані задовільно узгоджуються. Максимальний розбіг розрахункових і експериментальних даних для усього циклу випробувань склав у середньому 4 – 9%. Вказаний розбіг можна пояснити наявністю випадкових похибок, які викликані нестабільністю метеорологічних умов.

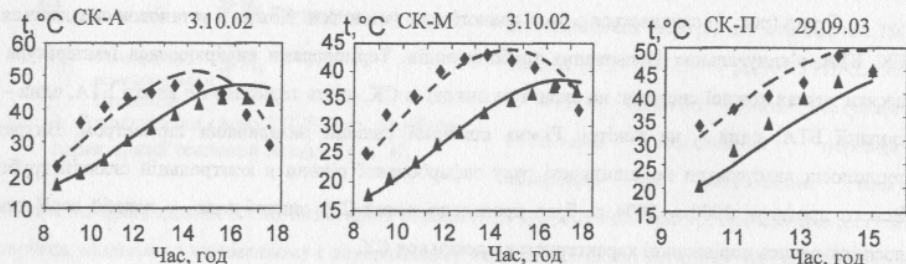


Рис. 7. Температура на виході із СК і середня температура в БТА для СК-А, СК-М і СК-П
 ----- розрахункова температура на виході із СК, ——— розрахункова середня температура в БТА, ◆ експериментальна температура на виході із СК, ▲ середня температура в БТА по експерименту

Випробування на стенді носили порівняльний характер і дозволяли виявити реальні характеристики СК, що порівнювались поза залежності від погодних умов. Паралельно проведені випробування і розрахунки показали, що теплові характеристики СК-А декілька вище характеристик СК-П (в середньому розбіг по середній температурі води в БТА для СК, що порівнювались, в кінці дня складало 7 – 14%). Це пов'язано з переважно гіршою світлопропускну здібністю полікарбонатної плити порівняно зі склом. Крім цього у СК-П декілька більший коефіцієнт втрат і менше коефіцієнт теплопровідності полікарбонату порівняно з алюмінієм.

Четвертий розділ присвячений інженерним прикладанням і містить розділи, присвячені сонячним системам теплопостачання, сонячним холодильним системам і аналізу екологічних аспектів нових розроблених СК і сонячних систем.

Розроблені і перевірені в умовах подовженої експлуатації основні схемні рішення ССГВ, в одно- і двоконтурних варіантах. Областю практичного використання розроблених сонячних

колекторів традиційного типу (СК-А) та металево-полімерного типу (СК-М), є сонячні системи з примусовою циркуляцією теплоносія, а також двоконтурні системи. Це обумовлено підвищеним тиском у робочих порожнинах (каналів) СК таких систем. Полімерний тип СК-П рекомендовано застосовувати в системах з природною циркуляцією теплоносія, а також у безнапірних системах.

Розроблені СК були впроваджені у 2000-2004 роках на таких об'єктах: на локомотивному депо «Застава-1» Одеської залізниці, продуктивністю 4 м³/доб і загальною площею 60 м² із використанням СК-М (двоконтурна система), три геліосистеми на об'єктах пансіонату Феодосійського МТП, продуктивністю 5, 3 і 2 м³/доб (60, 35 і 20 м² площі СК-А), у пансіонаті Білгород-Дністровського МТП впроваджена ССГВ продуктивністю 1 м³/доб і загальною площею СК-М 12 м², на 7 об'єктах МТП «Южный», а також у дитячому садку продуктивністю 1 м³/доб і загальною площею СК-М 12 м².

На рис. 8 надана фотографія і схема комбінованої ССГВ, в якій використовуються СК-М2.5 (2003 р. – локомотивне депо «Застава 1» Одеської залізниці).

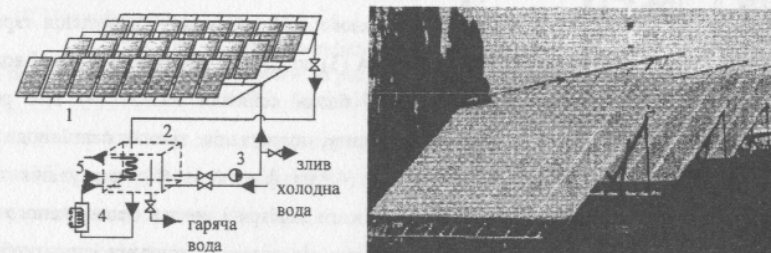


Рис. 8. Принципова схема і фотографія ССГВ локомотивного депо «Застава 1» Одеської залізниці.
 1 – сонячні колектори, 2 – теплоізолюваний бак-теплоакумулятор, 3 – pompa, 4 – електронагрівач, 5 – підігрів від котельної

Особливість системи в необхідності узгодження її роботи з діючою системою гарячого водопостачання, яка містить в собі електричний підігрівання води в весінньо-літньо-осінній сезон і підігрівання води паром від діючої котельної у зимній період.

Для оздоровчого комплексу "Чабанка" Одеського морського торговельного порту було проведено аналіз технічної можливості та економічної доцільності створення ССГВ для гарячого водопостачання і часткового опалення об'єктів комплексу. За розрахунками для спального корпусу, їдальні, лікувально-оздоровчого корпусу, харчоблоку, спортивного корпусу, котеджів та адміністративного корпусу знадобиться 552 м² загальної площі СК для забезпечення 45,1 м³ гарячої води на добу. Загальний економічний ефект за рік від впровадження всіх розроблених ССГВ замість існуючої котельної складе 71576 гр.

Розглянуті варіанти потребують створення компенсаційного механізму для забезпечення споживача гарячою водою незалежно від погодних умов. Таким компенсаційним механізмом може бути електронагрівач, котельня, газовий бойлер, тепловий насос та інші. В розділі наведені схемні рішення і аналіз роботи комбінованих геліосистем з тепловими насосами.

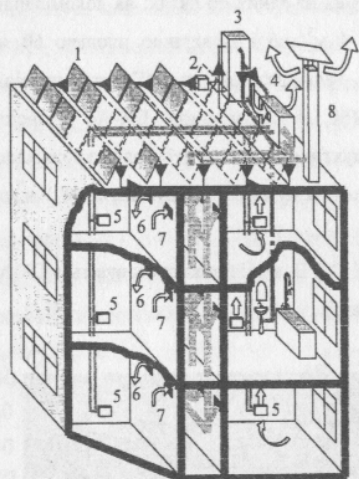


Рис. 9. Розміщення геліосистеми і блоку АСКП

приміщення до блоку АСКП (4) з додатком свіжого повітря і подача охолодженого повітря у приміщення. Схема АСКП рециркуляційна. Окремо від вказаних контурів існує розбір гарячої води із БТА (3) для гарячого водопостачання об'єкту.

В розділі наведені основи методології і виконано цикл розрахункових досліджень (сумісно з Австралійським дослідницьким центром Commonwealth Science and Industrial Research Organisation, Australia), який оцінює вплив циклу життя алюмінієвого і полімерного СК на навколишнє середовище (LCA "Life Cycle Assessment").

Цикл життя СК складається із наступних етапів: здобич корисних копалин, перевезення корисних копалин, обробка матеріалів, виробництво деталей, перевезення деталей, зборка колектора, перевезення колектора, експлуатація колектора, розбирання колектора, знищення деталей. В даній роботі прийняті до уваги дев'ять типів впливу на навколишнє середовище: потенціал глобального потепління (GWP), виснаження озонового шару, ВОС – викиди оксидів сірки, ВОФА – викиди оксидів фосфору і азоту, важкі метали, зимовий смог, літній смог, ресурси енергії і тверді відходи. Велике значення при оцінці впливу має також відсотковий вміст матеріалів у виробі, які можуть бути перероблені після завершення його періоду експлуатації. На рис. 10 показано повний екологічний вплив трьох типів СК, які порівнюються в роботі, на

розглянута можливість використання розроблених СК для створення сонячних холодильних і кондиціонованих систем, які розробляються в ОДАХ, на основі відкритого абсорбційного циклу, з використанням ССГВ для забезпечення регенерації абсорбенту і підтримки безперервного циклу роботи системи. Приклад такої сонячної альтернативної системи кондиціонування повітря (АСКП) для трьохповерхового будинку наданий на рис. 9. Схема складається з трьох водяних контурів і одного повітряного: геліосистема – циркуляція гарячої води від БТА (3) до СК (1), циркуляція гарячої води із БТА (3) до блока сонячної АСКП (4) для регенерації абсорбенту, циркуляція заохолодженої води із блоку АСКП (4) до фанкойлів (5), циркуляція повітря із

навколишнє середовище (за програмою "Eco-indicator 95") без урахування переробки основних матеріалів (рис. А) та при переробці (рециклінгу) 30% основних матеріалів, що входять у склад виробів (рис. Б). Розрахунок показав, що при переробці 30% основних матеріалів повний вплив на навколишнє середовище зменшиться на 15,2%, 14,4% і 16,7%, відповідно для СК-А, СК-М і СК-П. Розрахунки проводились за допомогою пакету "SimaPro-5", який враховує складності одержання даних по виробці енергії і по викидах для різних країн, що містить в собі бази даних для кожного з параметрів.

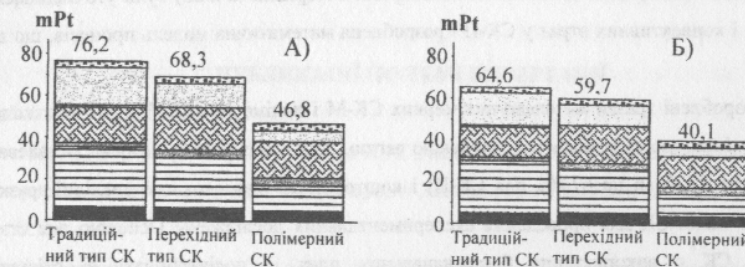


Рис. 10. Повний вплив (А) і при переробці 30% (Б) основних матеріалів на навколишнє середовище (за «Eco-indicator 95») СК-А, СК-М і СК-П

■ парникові гази, □ енергетичні ресурси, □ зимовий смог, ▨ важкі метали, □ ВОС, ▩ ВОФА, ▨ літній смог, ▨ озоновий шар

При порівнянні впливу двох однотипних виробів методологія "Eco-indicator 95" дозволяє визначити найбільш екологічно «шкідливий» зразок, а при детальному аналізі методологія дозволяє визначити складову частину виробу, яка вносить основний внесок у негативний вплив. Зниження для наступних шкідливих впливів полімерного СК-П порівняно з традиційним типом металевих (алюмінієвим) СК-А складо: для парникових газів 20,4%, для озонового шару 41,3%, для зимового смогу 66,9%, для літнього смогу 16,6%, для ВОС 58,1%, для ВОФА 21,2%, для зменшення енергоресурсів 26,7%.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Розглянуто сучасний стан сонячної енергетики. Виявлено основні тенденції розвитку таких систем, які полягають у підвищенні надійності і зниження коштовності, а також в розробці комбінованих систем, які забезпечують рішення задач тепло- і холодопостачання, і кондиціонування повітря. Визначено фактори, що негативно відбиваються на розвитку сонячної енергетики в Україні – в першу чергу їх висока коштовність, у зв'язку з використанням кольорових металів у традиційній конструкції СК.

2. Вироблено основні шляхи створення полімерних і металево-полімерних СК з урахуванням особливостей реалізації процесів в нових умовах (оптичних властивостей прозорого

покриття і абсорбера, теплофізичних властивостей прозорої і теплової ізоляції, характеру розподілення теплоносія в каналах полімерного абсорбера та інш.).

3. На основі уточненої фізичної картини протікання процесів в полімерному СК (відсутність оребрення каналів полімерного СК порівняно з традиційним металевим; витрата теплоносія у багатоканальному абсорбері, що відрізняється порівняно з трубним регістром традиційного СК; інший показник світлапереломлення прозорого покриття із полімерного матеріалу; інші теплофізичні властивості полімерних матеріалів та інш.) були уточнені механізми радіаційних і конвективних втрат у СК-П і розроблена математична модель процесів, що в ньому протікають.

4. Розроблені зразки металево-полімерних СК-М і полімерних СК-П сонячних колекторів нового покоління, що відрізняються зниженою вагою, порівняно з традиційними металевими СК (на 40,3% для СК-М і на 67,8% для СК-П) і коштовністю і виготовлені дослідні зразки ряду модифікацій таких СК для проведення експериментальних досліджень. Основою для створення полімерних СК є використання багатоканальних плит із полікарбонату зі стільниковою структурою каналів.

5. Було створено експериментальне обладнання і виготовлений комплекс порівняльних досліджень на натурних зразках розроблених СК (традиційного типу СК-А, металево-полімерного типу СК-М, полімерного типу СК-П) в умовах геліосистем з природною циркуляцією теплоносія.

6. Показано розрахунковим і експериментальним шляхом, що завдяки збільшенню витрат циркулюючої рідини через полімерний СК, забезпечується (у зіставлених умовах - при однаковій інтенсивності сонячної радіації, температурі навколишнього середовища, швидкості вітру, хмарності) зниження перепаду температури на вході і виході колектора, що призводить до збільшення загального ККД і компенсації зниження ефективності у зв'язку з переходом на ПМ.

7. Проведене експериментальне дослідження показало, що загальне зниження ефективності полімерного СК-П, порівняно з традиційним СК-А (з трубним регістром із алюмінієвого сплаву і ребром, виконаним методом екструзії сумісно з трубою колектора) не перевищує 14% і на 4% перевищує ефективність колектора СК-М з трубним регістром із мідних труб, притиснутих до металевого листа оребрення.

8. Розроблено схемні рішення для сонячних систем гарячого водопостачання з природною і примусовою циркуляцією теплоносія (для всіх типів досліджених СК) і проведено промислове впровадження таких систем (всього 13 ССГВ різної потужності і конфігурації), які підтвердили їх високі характеристики.

9. Проведене комплексне екологічне вивчення перспектив використання полімерних матеріалів у складі основних елементів сонячних систем з використанням сучасних методів аналізу і відповідною базою даних (LCA), показало, що зниження шкідливих впливів порівняно з

традиційним типом СК (порівнювали СК-П і СК-А) склало: для парникових газів 20,4%; для озонового шару 41,3%; для зимового смогу 66,9%; для літнього смогу 16,6%; для ВОС (викиди оксиду сірки) 58,1%; для ВОФА (викиди оксиду фосфору і азоту) 21,2%; зменшення енергоресурсів 26,7%.

10. Розроблені СК нового типу впроваджені у складі сонячних систем гарячого водопостачання на низці об'єктів України і Криму і успішно експлуатуються протягом останніх декількох років.

ПУБЛІКАЦІЇ ПО ТЕМІ ДИСЕРТАЦІЇ

Публікації у спеціальних виданнях:

- 1 Концов М. М., Белал Брахим, Шестопалов К.А. Экспериментальное изучение сравнительных характеристик плоских солнечных коллекторов // Холодильная техника и технология. – 2001. - № 5. - С. 34 - 37.
Особистий внесок: створення полігону для проведення експериментів, проведення серії експериментів.
- 2 P. Koltun, A. Doroshenko, K. Shestopalov. Ecological consequences of using conventional and plastic solar collectors in alternative air-conditional systems // Холодильная техника и технология. – 2002. - № 4. - С. 31 – 39.
Особистий внесок: проведення розрахункових досліджень і аналіз рішень по використанню полімерів.
- 3 Шестопалов К.А., Концов М.М. Возможности и перспективы применения новых материалов при конструировании и изготовлении солнечных коллекторов // Холодильная техника и технология. – 2004. - № 5. - С. 43 – 48.
Особистий внесок: аналіз характеристик полімерних матеріалів, узагальнення експериментальних даних.
- 4 Дорошенко О.В., Шестопалов К.О. Використання полімерних матеріалів в конструкції плоских сонячних колекторів // Тематичний збірник наукових праць “Обладнання та технології харчових виробництв”. – Донецьк. – 2004. - С. 152-160.
Особистий внесок: аналіз інформації, дослідження проблеми, проведення розрахунків.
- 5 Корейша О.В., Шестопалов К.А., Дорошенко А.В. Возможности использования солнечной энергии для обеспечения регенерации в абсорбционных холодильных системах // Сборник научных работ Международной научно-технической конференции “Энергоэффективность 2004”. (Дополнение к журналу “Холодильная техника и технология.”) – Одеса. – 2004. - С. 272-279.
Особистий внесок: Збирання та аналіз інформації, проведення порівняльних оцінок роботи абсорбційних систем.

Апробація роботи:

- 1 Лагути А. Е., Шестопалов К.А., Белал Брахим. Сравнительное изучение рабочих характеристик металлических и полимерных солнечных коллекторов, 2-а Міжнародна науково-технічна конференція «Сучасні проблеми холодильної техніки та технології». - Одеса. - 17-19 вересня 2002. - С. 46-52.
Особистий внесок: доповідь, демонстрація одержаних результатів, участь в обговоренні, підготовка матеріалів до публікації.
- 2 Шестопалов К.А. Теоретическое и экспериментальное изучение характеристик металлических и полимерных солнечных коллекторов, Науково-технічна аспірантська конференція «Сучасні проблеми низькотемпературної техніки». – Одеса. - 24 квітня 2002. - С. 63-67.
Особистий внесок: проведення дослідження, аналіз проблеми, аналіз результатів, підготовка матеріалів до публікації.
- 3 Колтув П., Дорошенко А.В., Концов М.М., Шестопалов К.А. Солнечные холодильные машины, 2-я Международная научно-техническая конференция, посвященная 300-летию Санкт-Петербурга «Низкотемпературные и пищевые технологии в XXI веке». - Санкт-Петербург. - 12-14 ноября 2003. – С. 78 – 83.
Особистий внесок: літературний огляд, аналіз інформації, проведення розрахунків, підготовка матеріалів до публікації.
- 4 Дорошенко А.В., Шестопалов К.А., Ахиезер В.К., Концов М.М. Новые типы солнечных коллекторов для альтернативных систем горячего водоснабжения, науково-практична конференція «Енергозберігаючі технології в будівництві та архітектурі». – Одеса. - 12 березня 2004. - С. 98-101.
Особистий внесок: доповідь, демонстрація одержаних результатів, участь в обговоренні.

УМОВНІ ПОЗНАЧКИ

ССГВ – системи сонячного гарячого водопостачання, СК – сонячний колектор, ПМ – полімерні матеріали, БТА – бак-теплоаккумулятор, Т – температура, °С; с – питома теплосмність, Дж/(кг·К); ρ – щільність, кг/м³; λ – теплопровідність, Вт/(м·К); τ – час, с; J – сонячна інсоляція, Вт/м²; G – масові витрати, кг/с; W – швидкість повітря, м/с; α – коефіцієнт тепловіддачі, Вт/(м²·К); U – коефіцієнт теплових втрат, Вт/(м²·К); n – число труб у трубному реєстрі сонячного колектора; d – діаметр труби, м; l – довжина, м; f – площа перерізу, м²; P – периметр перерізу, м; H – висота, м; δ – товщина елементу, м.

Індекси: p – прозоре покриття СК; a – приймальна пластина СК (абсорбер); o – зовнішнє середовище; ж – рідина; 1, 2 – під'ємний і опускний трубопроводи; б – бак-теплоаккумулятор, к – колектор.

АНОТАЦІЇ

Шестопалов К.А. Теплотехнические характеристики полимерных солнечных коллекторов для систем теплоснабжения. – Рукопись. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.06. – Техническая теплофизика и промышленная теплоэнергетика – Одесская государственная академия холода, Одесса, 2005.

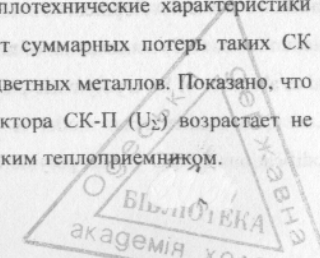
Диссертационная работа посвящена решению проблем, связанных с использованием солнечной энергетики в системах ССГВ.

Рассмотрено современное состояние в области солнечной энергетики. Отмечены основные тенденции развития таких систем, состоящие в повышении надежности и снижении стоимости, а также в разработке комбинированных солнечных систем тепло- и хладоснабжения. Определены факторы, отрицательно сказывающиеся на развитии солнечной энергетики в Украине – в первую очередь высокая стоимость СК, ввиду использования цветных металлов в традиционной конструкции СК (медь, алюминий). Рядом мировых исследовательских центров и фирм-производителей проводятся исследования по использованию полимерных материалов в конструкции СК, используемых для ССГВ.

Предложено использовать полимерные материалы в конструкции нового поколения солнечных коллекторов. Для прозрачного покрытия и для абсорбера СК рекомендовано применять полимерную плиту из сотового поликарбоната. Разработана математическая модель, описывающая рабочие процессы в традиционных металлических СК, а также учитывающая наличие полимерных сотовых структур в конструкции СК. Сравнение расчетных и экспериментальных зависимостей показало хорошее согласование (расхождение 5 – 10%).

По международным методикам тестирования СК, которые проводятся, в основном, в лабораторных условиях, была составлена программа проведения экспериментального исследования по определению теплотехнических характеристик СК различных модификаций. Основой методики является проведение сравнительных натурных исследований в естественной среде при постоянно изменяющихся условиях, а также выявление максимальных нагрузок для СК (максимальная температура нагрева абсорбера при отсутствии циркуляции теплоносителя, механические нагрузки, выдерживание абсорбером больших давлений).

Проведен цикл натурных экспериментов на ряде новых модификаций СК металло-полимерного и полимерного типов, подтвердивший высокие теплотехнические характеристики нового поколения СК из полимерных материалов. Коэффициент суммарных потерь таких СК незначительно снижается сравнительно с традиционными СК из цветных металлов. Показано, что величина суммарного коэффициента потерь полимерного коллектора СК-П (U_{Σ}) возрастает не более чем на 10%, сравнительно с традиционным СК с металлическим теплоприемником.



Разработаны и прошли широкую промышленную апробацию солнечные системы, основанные на применении исследованных металло-полимерных СК, подтвердившие высокую эффективность новых разработок. Рассмотрены схемы интеграции солнечных систем с традиционными системами теплообеспечения (с котельными установками), а также рассмотрены вопросы практической реализации компенсационного механизма, необходимость в котором обусловлена естественными колебаниями солнечной активности. Рассмотрены возможности применения теплонасосных установок для систем отопления и горячего водоснабжения с использованием солнечной энергии. В качестве компенсационного механизма естественных колебаний солнечной активности рассмотрены системы с применением газового и электрического бойлера, камина, теплового насоса, котельной.

Проведена оценка экологического влияния различных типов СК. По основным видам влияния на окружающую среду (потенциал глобального потепления (GWP), истощение озонового слоя, тяжелые металлы, зимний смог, летний смог, истощение ресурсов энергии и выбросы твердых отходов) использование полимерных материалов имеет преимущество по сравнению с черными и цветными металлами. Полученные результаты свидетельствуют о перспективности применения полимерных материалов в солнечной энергетике. Показано, что при переработке (рециклинге) 30% основных материалов полное влияние на окружающую среду уменьшится на 15,2%, 14,4% и 16,7%, соответственно для СК-А, СК-М и СК-П.

Разработанные СК нового типа внедрены в составе солнечных систем горячего водоснабжения ССГВ на ряде объектов Украины и Крыма и успешно эксплуатируются в течение последних нескольких лет.

Ключевые слова: солнечный коллектор, солнечная система, полимерные материалы, энергосбережение, полный жизненный цикл, экологическое влияние.

Shestopalov K.A. Thermal characteristics of polymeric solar collectors for heat water supply systems. - Manuscript. The Thesis for candidate of science degree by specialty 05.14.06. – Technical Thermophysics and Industrial heating Engineering. – Odessa State Academy of Refrigeration. Odessa, 2005.

The dissertation is devoted to the solving problems connected with the use of solar energy in heat water supply systems. The modern situation in the field of solar energy is considered. The basic tendencies of the development of such systems are mentioned. It is offered to use polymeric materials in a solar collector (SC) construction of new generation. It is recommended to apply as a transparent covering and as absorber of SC a polymeric plate of cellular structure.

The mathematical model is developed and the cycle of experiments on a number of new modifications of SC (metal-polymeric and polymeric types) is carried out, confirming high thermal

characteristics of the new generation SC. Factor of total losses of such collectors is reduced compared to traditional SC, made of non-ferrous metals.

The solar systems based on application of developed metal-polymeric SC, confirmed high efficiency of new development, have passed wide industrial approbation. The circuits of integration of solar systems with traditional systems of heat water supply are developed, and also the questions of practical realization of the compensatory mechanism are considered, the necessity in which is caused by natural fluctuations of solar activity.

The estimation of ecological influence of various types of SC is carried out. The received results testify about perspectives of application of polymeric materials in solar power engineering.

Key words: solar collector, solar system, polymeric materials, energy-saving, life cycle assessment, ecological influence.

Шестопалов К.О. Теплотехнічні характеристики полімерних сонячних колекторів для систем тепlopостачання. – Рукопис. Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.14.06. – Технічна теплофізика та промислова теплоенергетика – Одеська державна академія холоду, Одеса, 2005.

Дисертаційна робота присвячена рішення проблем, пов'язаних із використанням сонячної енергетики в системах сонячного гарячого водопостачання. Розглянуто сучасний стан в області сонячної енергетики. Відзначено основні тенденції розвитку таких систем. Запропоновано використовувати полімерні матеріали в конструкції нового покоління сонячних колекторів. Для прозорого покриття і абсорбера СК рекомендовано використовувати полімерну плиту із стільникового полікарбонату.

Розроблено математичну модель і проведено цикл натурних експериментів на низьці нових модифікацій СК металевополімерного та полімерного типів, які підтвердили високі теплотехнічні характеристики нового покоління СК. Коефіцієнт сумарних втрат тепла таких СК знижується порівняльно з традиційними СК із кольорових металів.

Розроблено та пройшли широку промислову апробацію сонячні системи, основані на використанні розроблених металевополімерних СК, які підтвердили високу ефективність нових розробок. Розроблено схеми інтеграції сонячних систем з традиційними системами тепlopозабезпечення, а також розглянуто питання практичної реалізації компенсаційного механізму, необхідність у якому обумовлена природними коливаннями сонячної активності.

Проведено оцінку екологічного впливу різних типів СК. Отримані результати свідчать про перспективність використання полімерних матеріалів у сонячній енергетиці.

Ключові слова: сонячний колектор, сонячна система, полімерні матеріали, енергосбереження, повний життєвий цикл, екологічний вплив.