

Підписано до друку 1.10.02
Обсяг 1.0 друк. арк. Формат 60х90/16.
Наклад 100 прим. Папір офсетний. Зам. № 489.
Надруковано у видавничому центрі ОДАХ
М. Одеса, вул. Дворянська, 1/3, к.
Тел./ факс (0482) 20-91-63, 23-89-31

Авторефер
Б43

ОДЕСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ ХОЛОДУ

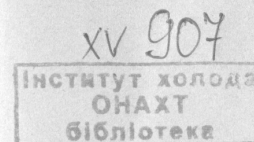
БЕЛАЛ БРАХИМ

УДК 536.248.2: 532.529.5

СОНЯЧНІ СИСТЕМИ ТЕПЛО- І ХОЛОДОПОСТАЧАННЯ

Спеціальність 05.05.14 - "Холодильна і кріогенна техніка,
системи кондиціонування"

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук



Одеса - 2002



Дисертація є рукопис.

Роботу виконано в Одеській державній академії холоду, науково-виробничій фірмі "Нові технології" (Україна) і сонячному Центрі UDES (Алжир).

Науковий керівник – доктор технічних наук, професор Лагутін Анатолій Юхимович, Одеська державна академія холоду, професор кафедри холодильних установок.

Офіційні опоненти:

- доктор технічних наук, професор Нікульшин Руслан Константинович, Одеська державна академія холоду, професор кафедри холодильних машин;
- кандидат технічних наук, професор Псахіс Борис Йосипович, НТПЦ "Водообробка", фізико-хімічний інститут ім. А.В. Богатського НАН України.

Провідна організація - Одеський національний політехнічний університет, Міністерство освіти і науки України

Захист дисертації відбудеться "19" грудня 2002 року в 14.30 на засіданні спеціалізованої вченої ради Д.41.087.01 в Одеській державній академії холоду за адресою: вул. Дворянська, 1/3, м. Одеса, 65026, Україна.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці ОДАХ за адресою:

Дворянська, 1/3, м. Одеса, 65026, Україна.

"15" 11 2002 року

В.І. Мілованов

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність роботи. Різке загострення взаємопов'язаних енергетичних і екологічних проблем - Монреальський протокол 1987 року з проблеми озонобезпеки і Кіотський протокол 1997 року з проблем емісії парникових газів і глобального потепління викликало значний інтерес до можливостей сонячних систем для теплопостачання (гаряче водопостачання й опалення) та холодопостачання. Найважливішою частиною у практичному значенні є геліосистема з плоскими сонячними колекторами, тобто найдешевший і найнадійніший тип геліосистеми. Схемні рішення, конфігурація і призначення таких систем надзвичайно різноманітні. Вони екологічно кращі порівняно з традиційними системами, бо забезпечують економію енерговитрат на реалізацію робочих процесів.

До недоліків сонячних систем належать значні габарити, чутливість до коливань сонячної активності, яка призвела до необхідності створення компенсаційного механізму у складі системи, порівняно висока вартість обладнання (сонячні колектори СК і тепломасообмінне обладнання – абсорбери, генератори і т. д.). Тому створення ефективних, легких і порівняно недорогих елементів таких систем, у першу чергу сонячних колекторів для нагрівання теплоносія у конкретній прив'язці до розроблюваних інженерних систем, є актуальним завданням як для України, так і для Алжира.

Роботу виконано в ОДАХ (теоретична частина дослідження), НПО "Нові технології" і сонячний Центр UDES (Алжир) - (експериментальна частина).

Зв'язок теми роботи з науковими планами і програмами. Тема роботи пов'язана з регіональною програмою енергозбереження Одеської області і національною програмою Алжира щодо розвитку сонячної енергетики.

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є створення екологічно чистих, енергозберігаючих систем тепло- і холодопостачання з використанням сонячної енергії. Відповідно до поставленої мети було сформульовано і розв'язано задачі: розробка схемних рішень сонячних систем тепло- і холодопостачання; моделювання робочих процесів в основних елементах систем (СК, баках-теплоаккумуляторах, геліосистемах в цілому); експериментальне дослідження робочих характеристик плоских сонячних колекторів на стенді-полігоні; створення методики інженерного розрахунку і розробка пілотних установок сонячного тепло- і холодопостачання.

Наукова новизна здобутих результатів:

- розроблено математичну модель водонагрівальної системи, проведено її розвиток в частині опису теплових явищ у колекторі між приймальною пластиною та прозорим (скляним або полімерним з багатоканальної плоскої плити) покриттям;
- з допомогою методів теорії різномірностей проведено аналіз системи диференціальних рівнянь математичної моделі сонячної (водонагрівальної) установки ГС. Проведено обґрунтування

квазістаціонарності режиму теплообміну для колектора, трубопроводів (підйомного й опускного), а також для характеру ламінарної течії рідини у замкненому гідравлічному контурі ГС;

- на підставі відомих загальних теоретичних положень про сонячну інсоляцію на похилій поверхні для довільної географічної широти розроблений алгоритм розрахунку густини сонячної енергії, що припадає на одиницю площі похилого колектора для будь-якого його місцеположення на земній поверхні. Розрахунок проводився у середовищі математичного пакета Matlab;
- розроблено методику розрахунку оптимального нахилу плоского сонячного колектора по відношенню до горизонту залежно від широти місця, при якому поглинована сумарна сонячна енергія (за розрахунковий період) має максимальне значення;
- виконано експериментальне дослідження натурних зразків плоских сонячних колекторів на полігоні і одержано нові дані відносно характеру циркуляції рідини у термосифонних ГС;
- розроблено схемні рішення і принципи інженерного оформлення сонячних систем теплопостачання, включаючи комбіновані системи і сонячну водоаміачну систему охолодження середовищ;
- здобуто нові результати при дослідженні пілотних установок сонячних систем, що стосуються впливу сонячної активності, добових і сезонних характеристик;
- розроблено повномасштабні пілотні установки сонячного нагріву і охолодження на підставі одержаних теоретичних та інженерних результатів.

Наукове положення сформульоване на підставі виконаних досліджень:

Максимальне значення поглинювальної сумарної сонячної енергії залежить від дійсного періоду використання системи (часу року і доби) та кута нахилу поверхні. Розроблений алгоритм розрахунку густини сонячної енергії, яка припадає на одиницю площі похилого СК дозволяє уточнити оптимальне значення кута нахилу СК по відношенню до горизонту залежно від широти місця, при якому поглинована сумарна сонячна енергія має максимальне значення.

Достовірність наукових положень і результатів підтверджується результатами експериментально-розрахункових досліджень і добрим якісним та кількісним погодженням здобутих результатів з існуючими літературними даними.

Практичне значення здобутих результатів. Одержані результати реалізовано при впровадженні пілотних сонячних установок; матеріали дисертаційного дослідження використовуються у навчальному процесі на кафедрі технічної термодинаміки ОДАХ у курсі лекцій і практичних занять з нетрадиційної енергетики у 2001-2002 роках.

Особистий внесок здобувача. Дисертаційну роботу виконано при консультаціях наукового керівника. На окремих етапах у роботі брали участь співробітники ОДАХ – співавтори основних публікацій; НПФ “Нові технології” стосовно впровадження ССГВ на Феодосійському МТП; співробітники сонячного Центру UDES в Алжирі при створенні і випробуваннях сонячної

холодильної водоаміачної установки. Особисто здобувачем виконано: моделювання робочих процесів [3,4], цикл експериментально-розрахункових досліджень [2,7,8], а також аналіз одержаних результатів.

Апробація роботи. Результати роботи репрезентовані на Міжнародному Конгресі з сонячних систем у Бельгії, у 1999 р.; на Міжнародному Конгресі “Reclin – 2000”, Куба, у 2000 р.; на міжнародній конференції “Наука и техника”, Алжир у 2000 р.; на міжнародній конференції “Сучасні проблеми холодильної техніки і технології” в Україні у 2002 р.

Публікації. За результатами роботи опубліковано 4 статті у наукових періодичних виданнях України.

Структура дисертації. Дисертація складається зі вступу, чотирьох основних розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Загальний обсяг роботи - 137 сторінок, включаючи 41 рисунок, 11 таблиць і 142 найменування літературних джерел.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтована актуальність теми з урахуванням сучасних загострених проблем енергетики й екології, розглянута зростаюча роль альтернативних джерел енергії, у першу чергу сонячної, в нових технологіях і, зокрема, при вирішенні завдань тепло- і холодозабезпечення, сформульована мета і основні завдання дослідження, викладена наукова новизна, практична цінність і апробація результатів роботи, обговорений особистий внесок здобувача.

У першому розділі розглянуто сучасний стан проблеми і виявлено головні тенденції розвитку сонячної техніки.

Одним з перших проєктів Міжнародного Енергетичного Агентства IEA (The International Energy Agency) була програма сонячного нагрівання і охолодження, що існує з 1977 року й донині. Останнє десятиліття відзначено особливою активністю у цьому напрямі в Японії і США. Приділяється увага розробці нових типів сонячних колекторів. В ЕС також відзначається підвищений інтерес до сонячної холодильної проблематики: конференція “EuroSun - 96”, Фрайбург, Німеччина, 1996 рік та інші.

У другому розділі роботи виконано моделювання робочих процесів в основних елементах сонячної системи з плоскими сонячними колекторами СК. Теплосприймальну панель розробленого СК (рисунок 1В) виконано у вигляді реєстра труб з плавковими ребрами, виготовленими з антикорозійного алюмінієвого сплаву. Як прозоре покриття використовували і традиційне рішення зі склом, і плиту з полімерного матеріалу, яка являє собою полікарбонатну плиту комірчастої структури. У баку-акумуляторі геліосистеми ГС (рисунок 1А) передбачено додаткове гріюче джерело, яке компенсує природні коливання сонячної активності та забезпечує при необхідності додаткове нагрівання води.

Моделювання процесів у геліосистемах (ГС). При виведенні рівнянь, які описують теплообмінні процеси в геліосистемі, бралися такі припущення:

- процеси у геліосистемі мають квазістаціонарний характер. Це дозволяє використати у розрахунках характеристики, здобуті у стаціонарних умовах. Правомірність цього припущення зумовлена повільною зміною інтенсивності сонячної радіації і температури навколишнього середовища;
- не враховувалися теплові втрати у навколишнє середовище крізь стінки труб теплоприймальника СК. Як показують розрахунки та досвід експлуатації ГС, ці втрати незначні завдяки малій поверхні труб і за наявності теплоізоляції;
- не враховувалося температурне розшарування (стратифікація) теплоносія у баку-теплоаккумуляторі (БТА). За умови вимушеної циркуляції швидкість теплоносія більша, ніж за умови природної, що призводить до інтенсивного перемішування рідини. Припущення про повне перемішування призводить до занижених значень теплопродуктивності, забезпечуючи таким чином розрахунковий запас виробленої теплової енергії.

При реалізації моделі були враховані такі чинники:

- залежність коефіцієнта теплових втрат від температури. Звичайно припускається, що коефіцієнт теплових втрат $U = \text{const.}$, але, як показують розрахунки, при збільшенні температури поглинаючої пластини від 50 °C до 100 °C коефіцієнт теплових втрат збільшується до 30%;
- вплив швидкості вітру на коефіцієнт теплових втрат U . Збільшення швидкості вітру від 0 до 5 м/с підвищує коефіцієнт теплових втрат на 15-20%, тому розрахунки проводилися з урахуванням реального вітрового навантаження для місцевості, в якій розташована АСКП;
- залежність пропускательної здатності прозорої ізоляції від кута падіння сонячних променів на площину СК. Цей чинник необхідно враховувати, бо якщо вказаний кут перевищує 60°, скло практично повністю відбиває все падаюче на його поверхню випромінювання.

Рисунки 2 і 3, ілюструють здобуті результати. Основні результати випробувань перебувають у добрій відповідності до розрахункових даних. Розбіжність в одержаних результатах за наближеним методом і за розробленою математичною моделлю не перевищує 5-7%.

Визначення оптимального нахилу сонячного колектора системи сонячного гарячого водопостачання ССГВ. Розрахунок інтенсивності сонячної радіації здійснюється за формулою:

$$S = (H_b R_b + H_d) \cdot (\tau \alpha), \quad (1)$$

де H_b , H_d - пряма і розсіяна складові сонячної радіації на горизонтальній поверхні, Вт/м²; $(\tau \alpha)$ - наведена поглинальна здатність

$$(\tau \alpha) = \frac{\tau \alpha}{1 - (1 - \alpha) \rho_d}, \quad (2)$$

де ρ_d - дифузна відбивна здатність. Для системи прозорих покриттів з одного, двох, трьох і чотирьох листів скла ρ_d приблизно дорівнює 0,16; 0,24; 0,29; 0,32 відповідно; α - напрямлена поглинальна здатність поглинаючої пластини ($\alpha = 0,94 \div 0,95$); τ - пропускательна здатність (τ - пропускательна здатність без урахування поглинання):

$$\tau = \tau_r \tau_a \quad (3)$$

$$\text{Для одного покриття:} \quad \tau_r = \frac{1 - \rho}{1 + \rho} \quad (4)$$

$$\rho = \frac{1}{2} \left[\frac{\sin^2(\theta_2 - \theta_1)}{\sin^2(\theta_2 + \theta_1)} + \frac{\tan^2(\theta_2 - \theta_1)}{\tan^2(\theta_2 + \theta_1)} \right] \quad (5)$$

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{\sin \theta_2}{\sin \theta_1} \quad (6)$$

де n_1 , n_2 - показники заломлення; θ_1 , θ_2 - кути падіння і заломлення (рисунок 4). Якщо середовище 1 повітря, то $n_1 = 1$, а показник заломлення скла $n_2 = 1,526$. τ_a - пропускательна здатність, що враховує лише поглинання;

$$\tau_a = e^{-KL} \quad (7)$$

де L - товщина скла, см; K - коефіцієнт ослаблення скла, см⁻¹. Значення K змінюється від $\sim 0,04$ см⁻¹ для високопрозорого скла (з безбарвною кромкою) до $\sim 0,32$ см⁻¹ для поганого (із зеленкуватим відтінком кромки) скла. Для звичайного віконного скла $L = 0,32$ см, $K = 0,161$ см⁻¹. Підставляючи відповідні значення $\alpha = 0,94$, $\rho_d = 0,16$ (для одиночного покриття), $\tau_a = 0,9498$ в (3) і (2) для наведеної поглинальної здатності, дістанемо:

$$(\tau \alpha) = 0,9014 \frac{1 - \rho}{1 + \rho} \quad (8)$$

Величина R_b у виразі (1) визначається таким співвідношенням:

$$R_b = \frac{\cos \theta_1}{\cos \theta_2} = \frac{\cos(\varphi - \beta) \cos \delta \cos \omega + \sin(\varphi - \beta) \sin \delta}{\cos \varphi \cos \delta \cos \omega + \sin \varphi \sin \delta} \quad (9)$$

тут θ_1 , θ_2 - кути падіння відповідно до похилої і горизонтальної поверхонь; φ - широта місцевості (для Одеси $\varphi = 46,5^\circ$); β - кут між розглядуваною площиною і горизонтальною площиною (нахил колектора, рисунок 4В); δ - схилання (кутове положення Сонця):

$$\delta = 23,45^\circ \sin \left(360 \frac{284 + n}{365} \right), \quad (10)$$

де n - порядковий номер дня року; ω - годинний кут (τ - час доби в годинах):

$$\omega = 180^\circ - 15^\circ \tau \quad (11)$$

Таким чином, інтенсивність сонячної радіації, що визначається за формулою (1) з урахуванням залежностей (5), (6), (8), – (11) являє собою функцію часу року n , часу доби τ і кута нахилу β сонячного колектора: $S = S(n, \tau, \beta)$.

При розрахунку оптимального значення кута нахилу β розглядається усереднене значення за часом інтенсивності сонячної радіації за період використання системи гарячого водопостачання (протягом року – квітень-жовтень і протягом доби – 6⁰⁰ – 19⁰⁰).

$$S_{cp}(\beta) = \frac{1}{7 \cdot 14} \sum_{i=1}^7 \sum_{k=1}^{14} S(i, k, \beta), \quad (12)$$

де i – місяці року (квітень – жовтень); k – час доби (від 6-ої до 19-ої години). Для умов м. Одеси ($\varphi = 46,5$ градусів північної широти) результати розрахунків середніх значень сонячної інсоляції залежно від нахилу β колектора подано на рисунку 5. Видно, що функція $S_{cp}(\beta)$ має максимум, що відповідає значенню нахилу $\beta = 26^\circ$.

У третьому розділі наведено опис експериментального обладнання, методики проведення порівняльних випробувань плоских сонячних колекторів і результати аналізу здобутих результатів. Для експериментального вивчення (випробувань натурних зразків) теплових характеристик нових зразків сонячних колекторів (СК) було створено стенд (рисунок 6, позначення: 1 – вентиль; 2 – водопровідний трубопровід; 3 – бак-акумулятор; 4 – запірний вентиль; 5, 8 – зливний вентиль; 6 – опускний трубопровід; 7 – колектор; 9 – підйомний трубопровід; 10 – скляна трубка; 11- шприц; 12 – секундомір; 13 – контрольно-самопишучий пристрій; 14 – термопара на вході у колектор; 15 – термопара на виході з колектора; 16 – термопара для вимірювання температури навколишнього середовища; 17 – пірометр; 18 – гальванометр; 19 – вольтметр; 20 – перемикач; 21 – посудина Дьюара; 22 – ртутний термометр; 23 – анемометр). Стенд симетричний і включає дві цілком аналогічні системи для одержання порівняльних робочих характеристик випробуваних зразків СК. Кожна з цих систем, у свою чергу, включає: водопровідний трубопровід, оснащений вентилем, який підключено до бака-теплоакумулятора (БТА) (місткість 80 літрів); два теплоізольованих трубопроводи – опускний і підйомний, які служать з'єднанням бака-акумулятора з СК (опускний трубопровід оснащений зливним вентилем, підйомний трубопровід оснащений витратомірним пристроєм, який складається зі скляної трубки зі шкалою, шприца (дозуючого пристрою), наповненого барвною рідиною (у даному випадку використовували розчин перманганату калію); секундоміра; блока термопар, підключених до контрольно-самопишучого приладу КСПІ-023, термопари на вході у колектор, на виході з нього і термопари, що відповідає за температуру навколишнього середовища; у місткості кожного з двох баків-теплоакумуляторів БТА встановлено (повністю ідентично за розташуванням) по сім термопар: дві термопари встановлені на вході і виході

кожного випробуваного сонячного колектора СК, і одна термопара встановлена на повітрі. Термопари підключені до вольтметра через перемикач; посудина Дьюара, що забезпечує нульову температуру холодного спаю термопар, оснащена контрольним ртутним термометром. Для вимірювання інтенсивності радіації застосовано піранометр зі вторинним приладом – гальванометром М-80; для вимірювання швидкості вітру використовувався анемометр МС-13.

У конструкціях СК (габарити СК – 1200 x 900 x 108; добовий об'єм нагрітої води – 100 л; максимальна температура нагрітої води в БТА у липні у м. Одесі – 65⁰С; термін служби – 10 років) використовували як прозоре покриття і традиційне рішення зі склом (маса СК – 23 кг), і плиту з полімерного матеріалу (маса СК – 20 кг). Остання являє собою полікарбонатну плиту комірчастої структури (товщина плити 4 мм, розмір прямокутної комірки 4 x 6 мм). Як показали попередні дослідження, проведені в НФП “Нові технології”, це рішення дозволяє істотно знизити вагу СК практично без погіршення оптичних властивостей (пропускна здатність полімерної плити менша, ніж у скла приблизно на 12-15% за даними наших досліджень). Теплоносії надходить через вхідний гідравлічний колектор у канали абсорбера сонячного колектора СК, нагрівається і виходить з СК через вихідний гідравлічний колектор. Сонячне випромінювання, проходячи через верхню прозору плиту, поглинається теплосприймальною поверхнею абсорбера. Частина поглиненої енергії передається теплоносію, а частина переходить у навколишнє середовище у вигляді теплових втрат через верхню плиту, що має високу поглинальну здатність в галузі довгохвильового теплового випромінювання (парниковий ефект), і через шар теплоізоляційного матеріалу, розташований у нижній частині колектора.

Випробування проводилися у період 2001 – 2002 років. Всі вимірювання робилися щоденно у вигляді повного циклу вимірів в період основної сонячної активності (з 9⁰⁰ до 17⁰⁰). Знімали показання всіх приладів після ночі для врахування втрат тепла в БТА. Проводили повний злив води і наступне заповнення обох баків-теплоакумуляторів. За допомогою скляної трубки, шприца з розчином перманганату калію і секундоміра виміряли швидкість руху води, що надходить в БТА після СК. За допомогою КСПІ 13 знімали показання термопар, встановлених на вході і виході із СК, термопари, яка розташована в повітрі і яка показує температуру навколишнього середовища. Визначали величину інтенсивності сонячної радіації за показаннями приладу, що складається з піранометра і гальванометра. Знімали показання термо-ЕДС за допомогою вольтметра (ВТ-46/1), до якого підключені спай термопар на опускному трубопроводі перед БТА; спай термопар на підйомному трубопроводі після БТА; спай термопар для вимірювання температури навколишнього середовища; і спай термопар, розташованої безпосередньо у товщині ізоляції БТА. Перевіряли показання контрольного ртутного термометра, встановленого в посудині Дьюара. На закінченні досліду воду в баку-акумуляторі перемішували і визначали інтегральне добове вироблення теплоти. Для забезпечення коректності порівняння даних, одержаних у ході експерименту на

кожній парі порівнюваних сонячних колекторів, досліди проводили в один і той самий час і за цілком ідентичних умов. Основні результати випробувань перебувають у добрій відповідності до розрахункових даних (рисунок 3В).

У четвертому розділі подано результати практичної реалізації розроблених сонячних систем. Система сонячного гарячого водопостачання ССГВ була розроблена і впроваджена у 2001 році на об'єктах пансіонату Феодосійського морського порту (житловий і лікувальний корпуси та їдальня). Загальна продуктивність ССГВ складає 9 куб. м. гарячої води на добу, сумарна площа СК дорівнює 90 кв. м (використані для компонування 3-х ССГВ сонячні колектори СК площею 1.1 і 2.0 кв. м).

На підставі одержаних результатів була розроблена і створена експериментальна сонячна водоаміачна абсорбційна холодильна установка для підтримки мінусових температур в ізотермічній камері. Пілотна установка забезпечила можливість вивчення окремих процесів, які протікають в елементах аналізованої системи у режимах періодичної дії. Первісне прагнення до розширення зони дегазації проти значень, рекомендованих у промислових установках (8-12%), зумовлено обмеженими температурними можливостями на стороні гріючого (сонце) і охолоджуючого (вода) джерел здійснення прямого і зворотного циклів в умовах аридної пустелі у центрі Сахари на території Алжира. При здійсненні періодичного циклу роботи передбачено різні варіанти охолодження збіденого робочого розчину перед його переливанням в абсорбер і нагрівання багатого розчину перед його переміщенням у генератор. З урахуванням кліматичних умов і зсунутих в часі фаз поглинання та випарювання розчину в режимі періодичної дії було розраховано місткості апаратів, достатні для накопичення у ресивері рідкого аміаку на весь робочий період. Установка (рисунок 7) містить: три гладкотрубні батареї випарника, розташовані в ізотермічній камері (1); абсорбер (2), водяні насоси (3, 9); оглядові пристрої (4, 13); основний (5) і допоміжний (6) ресивери; генератор (7); блок сонячних колекторів (8); розширювальний бачок (10); випарний конденсатор (11) і дефлегматор (12).

Режим генерації пари відбувався у денний період з 8⁰⁰ до 18⁰⁰ годин. Міцний розчин, вміщений у генератор, підігрівався за рахунок тепла, яке надходило від геліосистеми. Блок сонячних колекторів складався з 12 автономних елементів з сумарною площею поверхні 18 м². Площа поверхні змійовика генератора склала 1,01 м². Після досягнення величини робочого тиску, що дозволило здійснити процес конденсації генерованої пари, у роботу денного циклу підключалися дефлегматор, випарний конденсатор, основний і допоміжний лінійні ресивери. Процес завершувався при заповненні рідким аміаком робочої місткості всього основного лінійного ресивера. Режим охолодження збіденого робочого розчину, вміщеного в генератор, здійснювався за рахунок підімкнення змійовика генератора у відкритий насосний контур водяного охолодження випарного конденсатора. Після досягнення в місткості генератора тиску, який

трошки перевищує припущений тиск кипіння аміаку, відбувалося передавлювання збіденого робочого розчину в абсорбер. Конструктивно абсорбер виготовлений за аналогією з генератором. Площа поверхні змійовика абсорбера також склала – 1,01 м². Приблизно о 19⁰⁰-20⁰⁰ год. здійснювався перехід на режим здобуття холоду в місткості ізотермічної камери. Для цього змійовик абсорбера підключався до відкритого насосного контура водяного охолодження випарного конденсатора. Сконденсований і зібраний у лінійному ресивері аміак через регулювальний вентиль прямував у батареї камери. Режим абсорбції парів аміаку відбувався у нічний час з 19⁰⁰ до 7-ої години ранку. Режим попереднього нагрівання багатого робочого розчину, вміщеного в абсорбер, виконувався за рахунок підмикання змійовика абсорбера у контур геліосистеми. Після досягнення позитивної різниці тисків між генератором і абсорбером міцний розчин зливали в генератор і установку переводили на режим генерації пари холодоагенту. Робочий цикл замикався.

Температурний режим роботи установки визначався трьома незалежними параметрами джерел теплоти – вищою температурою гріючого джерела, нижчою температурою охолоджувальної води і температурою охолоджуваного джерела. За вимірними значеннями температур, тисків і витрат робочих середовищ визначали параметри рідкої і парової фаз водоаміачного розчину у вузлових точках циклу. Визначали холодопродуктивність і тепловий коефіцієнт установки. Встановлювали дослідну тривалість циклів генерації і абсорбції. Перевіряли працездатність установки при різних параметрах навколишнього середовища. Для здійснення робочого циклу установки у період випробувань витрата аміаку склала (0,18 – 0,27) 10⁻³ кг/с. Таким чином, за 12 годин процесу охолодження ізотермічної камери (Т_{кам} = -5 + 0 °С) з урахуванням запасу необхідно було накопичити в ресивері 15 кг аміаку. За період весняно-літніх випробувань холодопродуктивність установки склала 190-330 Вт. Наявність акумулятора холоду в місткості ізотермічної камери дозволила при припиненні живлення випарника холодильним агентом виключити підвищення температури охолоджуваного повітря вище нуля протягом 2-3 годин. Після прийнятої заправки установки водоаміачним розчином протягом денного часу можна було запасти холодоагент у достатній кількості для здійснення робочого циклу протягом доби. Одержані при випробуваннях установки дані свідчать про працездатність сонячної пілотної установки.

Головні висновки

1. Розроблено нові схемні рішення сонячних холодильних і водонагрівальних систем, екологічно чистих і працездатних від сонячної енергії або при її значній частковій складовій у загальному балансі гріючого джерела.

2. Розроблено математичну модель термосифонної водонагрівальної системи, що описує теплові процеси в СК між приймальною пластиною і прозорим (скляним або полімерним з багатоканальною плоскою плити) покриттям; за допомогою методів теорії розмірностей проведено аналіз системи диференціальних рівнянь математичної моделі ССГВ; проведено обґрунтування квазістаціонарності режиму теплообміну для колектора, трубопроводів (підйомного і опускного), а також для характеру ламінарної течії рідини у замкненому гідравлічному контурі ГС.
3. Розроблено алгоритм розрахунку густини сонячної енергії, яка припадає на одиницю площі похилого СК, що дозволяє уточнити максимальне значення кута нахилу СК по відношенню до горизонту залежно від широти місця, при якому поглинювана сумарна сонячна енергія має максимальне значення.
4. Розроблено модифікацію плоского сонячного колектора на основі алюмінієвого сплаву і прозорого покриття полімерного матеріалу і проведено оптимізацію СК.
5. Розроблено експериментальне обладнання і методику проведення порівняльних випробувань плоских сонячних колекторів; проведено цикл експериментальних досліджень дослідного зразка СК і проаналізовано одержані результати. Теоретичні і експериментальні результати перебувають у добрій відповідності.
6. Розроблено сонячну систему теплопостачання, продуктивністю 9 куб. м. гарячої води на добу і сумарною площею СК 90 кв. м, що забезпечує за умов півдня України стійку підтримку потрібних параметрів ССГВ у період квітень-вересень включно. Проведено впровадження повномасштабної ССГВ у Феодосійському МТП, що цілком підтверджує її працездатність у сезоні 2001-2002 рр.
7. Розроблено сонячну водоаміачну систему холодопродуктивністю 190-330 Вт (Т_{кам} = -5 + 0 °С), що забезпечує при використанні сонячної енергії для генерації пари холодоагенту можливість накопичення холодоагенту в кількості, достатній для здійснення робочого циклу протягом доби. Проведені випробування пілотної аміачної установки за умов аридної пустелі у центрі Сахари (Алжир) повною мірою підтвердили її працездатність.

Головний зміст дисертації викладено в роботах:

1. Geothermal energy UDES n an absorption cooling process. A. Benzaoui, M. Saghi, A. Douabdallah, B. Belal // Холодильна техніка і технологія - 2000, - № (65), С. 22-29;
2. М.М. Концов, Белал Брахим, К.А. Шестопалов Экспериментальное изучение сравнительных характеристик плоских солнечных коллекторов. // Холодильна техніка і технологія - 2001,- №5 (74), С. 34-37;
3. А.А. Подберезкин, М.М. Концов, Белал Брахим Инженерное оформление солнечных холодильных и кондиционирующих систем. // Холодильна техніка і технологія – 2002,- №1(75), С. 39-42;

4. А.В. Дорошенко, О.В. Корейша, Белал Брахим Использование солнечной энергии в системах термовлажностной обработки воздуха. // Холодильна техніка і технологія -2002, - №4 (78), 2002, С. 5-10;
5. B. Belal, S. Kenal Experimentation d'une machine a absorption par energie solaire ab cycle intermitemps au sud de L'Algeire // VI Congreso Internacional de Refrigeracion, Climatizacion t Ingenieria Energetica, Reclien'2000, 17-21 de julio del 2000, de la Habana, Cuba;
6. B. Belal Edunt et dimensionnement d'une machine frigorifique a absorptionsolide a energie solaire. // 9 Journees Internationales de la Thermique JITH, 15-18 septembre 1999 – Belgique;
- 7 B. Belal Presentation de l'unité de developpement des equipements solares (UDES) // 4 Journees Scientifiques et Techniques, du 16 au 19 Avril 2000, Alger;
8. Лагутин А.Е., Шестопалов К.А., Белал Брахим Теоретическое и экспериментальное изучение рабочих характеристик металлических и полимерных солнечных коллекторов. //2 Международная конференция «Современные проблемы холодильной техники и технологии», 17-19 сентября 2002 г., Одесса, Украина.

Умовні позначення

S - інтенсивності сонячної радіації; коефіцієнт теплових втрат U; H_b , H_d - пряма і розсіяна складові сонячної радіації на горизонтальній поверхні; $(\tau\alpha)$ – наведена поглинальна здатність; ρ_d - дифузна відбивна здатність; τ - пропусальна здатність (τ_r - пропусальна здатність без урахування поглинання); θ_1 , θ_z - кути падіння відповідно до похилої і горизонтальної поверхонь; δ - схилення (кутове положення Сонця); ω - годинний кут; β - кут між розглядуваною площиною і горизонтальною площиною (нахил колектора); СК - сонячний колектор; ГС – геліосистема; БТА - бак-теплоаккумулятор; ССГВ - система сонячного гарячого водопостачання.

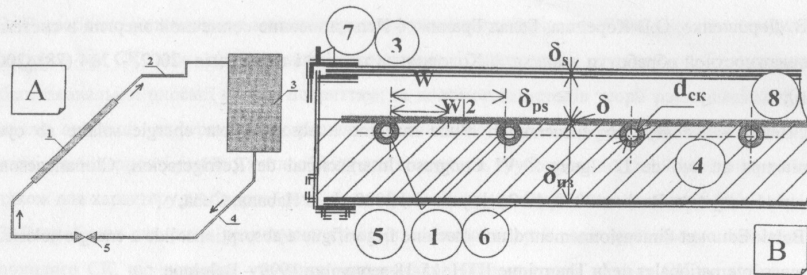


Рисунок 1. А - Схема сонячної водонагрівальної установки (1 - колектор; 2 - підйомний з'єднувальний трубопровід; 3 - бак-акумулятор; 4 - опускний з'єднувальний трубопровід; 5 - вентиль); В - К моделювання робочих процесів у плоскому сонячному колекторі (1 - трубний реєстр СК; 2 - колекторні труби; 3 - прозора ізоляція; 4 - теплоізоляція; 5 - корпус колектора; 6 - днище; 7 - притискний пристрій (кріплення скла); 8 - повітряний проміжок).

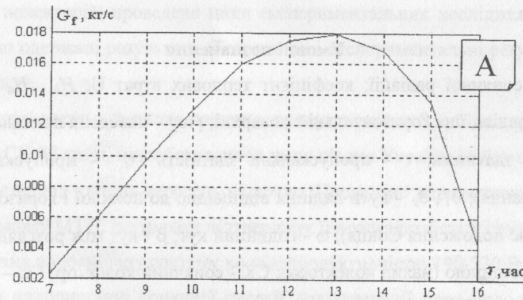


Рисунок 2 А. Зміна масової витрати рідини G_f протягом часу.

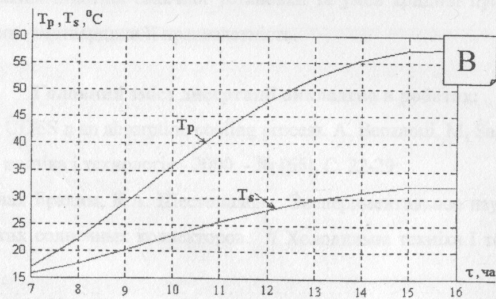


Рисунок 2В. Зміна температури приймальної пластини T_p і температури скляного покриття T_s колектора протягом часу.

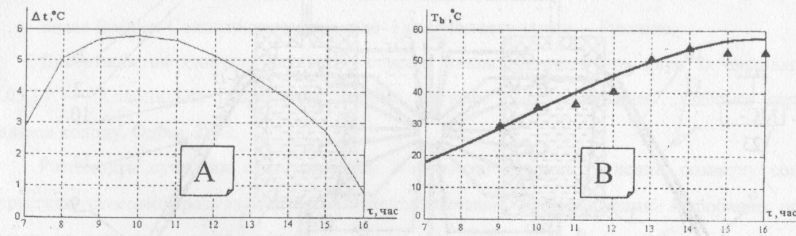


Рисунок 3. А - Зміна різниці температур $\Delta t = t_{\text{вих}} - t_{\text{вх}}$ рідини відповідно на виході і вході у колектор; В - Температура рідини у верхній частині акумуляційної місткості. Суцільна лінія - теоретичний розрахунок, точки - експериментальні дані, які відповідають випробуванням від 10 вересня 2001 року.

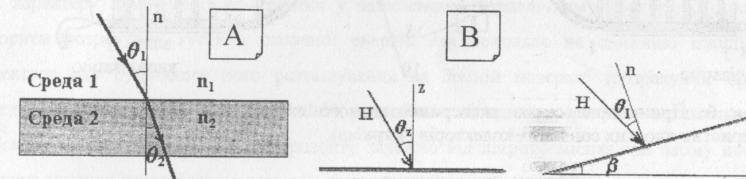


Рисунок 4. А - Заломлення променя на межі двох середовищ; В - Хід променів для горизонтальної та похилої поверхонь.

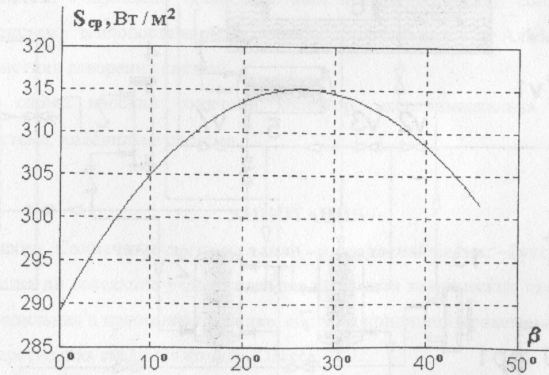


Рисунок 5. Залежність середньої інтенсивності сонячної радіації від кута нахилу приймальної пластини колектора $S_{cp}(\beta)$

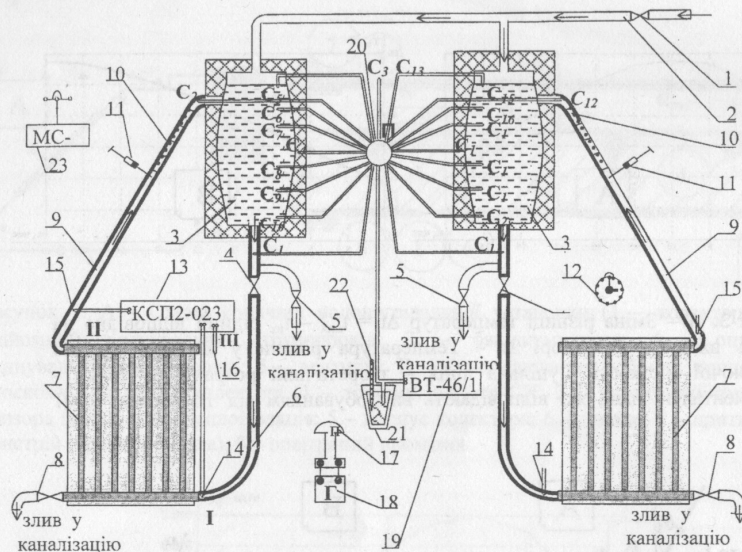


Рисунок 6. Принципова схема експериментального стенда для вивчення робочих характеристик плоских сонячних колекторів (Україна).

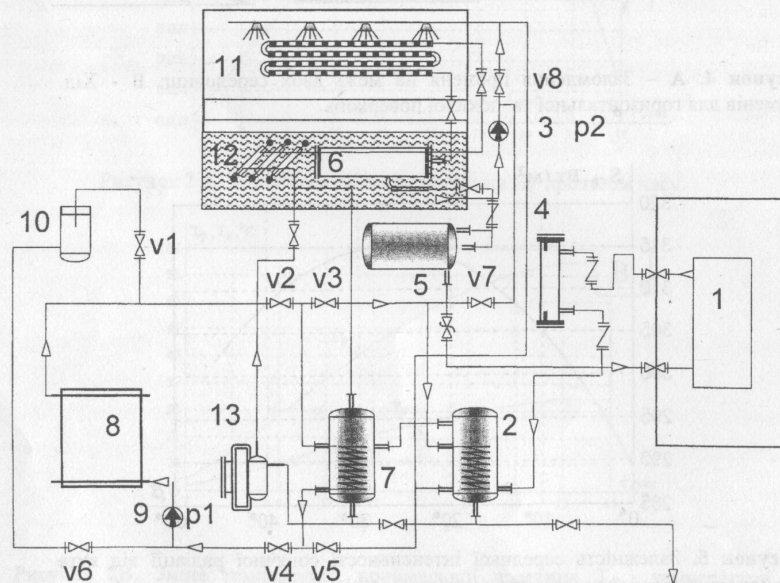


Рисунок 7. Принципова схема сонячної холодильної водоаміачної установки (Алжир).

АНОТАЦІЯ

Белал Брахім. Сонячні системи тепло- і холодопостачання. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.05.14 – “Холодильна і криогенна техніка, системи кондиціонування”. Одеська державна академія холоду, Одеса, 2002.

Розглянуто сучасний стан проблеми і виявлено основні тенденції розвитку сонячної енергетики стосовно розв'язання задач теплопостачання і охолодження. Вироблено основні вимоги до сучасних сонячних систем. Розроблено нові рішення для ГС з плоскими СК з урахуванням мінімізації енерговитрат і екологічно шкідливих наслідків їх практичного застосування. Робота теоретичного, експериментального і прикладного характеру виконувалась паралельно в ОДАХ і сонячному Центрі Алжира UDES.

Розроблено математичну модель термосифонної сонячної системи ГС; проведено обґрунтування квазістаціонарності режиму теплообміну для колектора, трубопроводів, а також для характеру ламінарної течії рідини у замкненому гідравлічному контурі ГС; розроблений алгоритм розрахунку густини сонячної енергії, яка припадає на одиницю площі похилого колектора для будь-якого його розташування на Земній поверхні (розрахунки проведено у середовищі математичного пакета Matlab); розроблено методику розрахунку оптимального нахилу плоского СК по відношенню до горизонту залежно від широти місця, при якому поглинювана сумарна сонячна енергія має максимальне значення.

Виконано експериментальні дослідження натурних зразків плоских сонячних колекторів на полігоні. Теоретичні та експериментальні результати перебувають у добрій відповідності. Розроблено схемні рішення і принципи інженерного оформлення ГС і сонячних водоаміачних холодильних систем. Розроблено повномасштабні пілотні установки сонячного нагрівання і охолодження (систем теплопостачання в Україні, холодильних – в Алжирі), що підтвердили високі характеристики створених систем.

Ключові слова: плоский сонячний колектор, експериментальна установка, сонячна нагрівальна система, холодильна система.

АННОТАЦИЯ

Белал Брахим. Солнечные системы тепло- и хладоснабжения. - Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.05.14 – «Холодильная и криогенная техника, системы кондиционирования». Одесская государственная академия холода, Одесса, 2002.

Рассмотрено современное состояние проблемы и выявлены основные тенденции развития солнечной энергетики применительно к решению задач теплоснабжения (горячего водоснабжения

и отопления) и охлаждения. Выработаны основные требования к современным солнечным системам. Разработаны новые решения для ГС с плоскими СК, с учетом минимизации энергозатрат и экологически вредных последствий их практического использования. Работа носит теоретический, экспериментальный и прикладной характер и выполнялась параллельно в ОГАХ и солнечном Центре Алжира UDES.

Разработана математическая модель термосифонной солнечной системы ГС; проведено её развитие в части описания тепловых явлений в коллекторе между приёмной пластиной и прозрачным (стеклянным, либо полимерным из многоканальной плоской плиты) покрытием; с помощью методов теории размерностей проведен анализ системы дифференциальных уравнений математической модели ГС. Проведено обоснование квазистационарности режима теплообмена для коллектора, трубопроводов, а также для характера ламинарного течения жидкости в замкнутом гидравлическом контуре ГС; на основании известных общих теоретических положений о солнечной инсоляции на наклонной поверхности для произвольной географической широты разработан алгоритм расчёта плотности солнечной энергии, приходящейся на единицу площади наклонного коллектора для любого его местоположения на Земной поверхности (расчёт проведен в среде математического пакета MatLab); разработана методика расчёта оптимального наклона плоского солнечного коллектора по отношению к горизонту в зависимости от широты места, при котором поглощаемая суммарная солнечная энергия (за расчётный период) имеет максимальное значение.

Выполнены экспериментальные исследования натуральных образцов плоских солнечных коллекторов на полигоне ОГАХ - НПФ "Новые технологии" и получены новые данные относительно характера циркуляции жидкости в термосифонных ГС. Испытания проводились на стенде-полигоне ОГАХ и НПФ «Новые технологии», обеспечивающем исследование полномасштабных натуральных образцов солнечных коллекторов и получение сравнительных характеристик при одновременном параллельном исследовании нескольких сравниваемых типов СК. В конструкциях СК использовали, в качестве прозрачного покрытия, как традиционное решение со стеклом, так и плиту из полимерного материала в виде поликарбонатной плиты ячеистой структуры. Как показали исследования, это решение позволяет существенно снизить вес СК, практически без ухудшения оптических свойств. Все измерения проводились ежедневно, в виде полного цикла замеров, в период основной солнечной активности (с 9^{00} до 17^{00}). Для обеспечения корректности сравнения данных, полученных в ходе эксперимента на каждой паре сравниваемых солнечных коллекторов, опыты проводили в одно и то же время и при полностью идентичных условиях. Теоретические и экспериментальные результаты находятся в хорошем соответствии.

Разработаны схемные решения и принципы инженерного оформления ГС (включая комбинированные системы с компенсационным механизмом колебания солнечной активности) и солнечных водоаммиачных холодильных систем. Разработаны полномасштабные пилотные установки солнечного нагрева и охлаждения на основе полученных теоретических и инженерных результатов и проведены их испытания (систем теплоснабжения в Украине, холодильных - в Алжире), подтвердившие высокие характеристики созданных систем и наметившие пути их дальнейшего совершенствования.

Ключевые слова: плоский солнечный коллектор, экспериментальные установки, солнечная нагревательная система, холодильная система.

SUMMARY

Belal Brahim. **Solar thermo- and cold supply systems.** - The manuscript

Thesis for a M. Sc. degree on specialty 05.05.14 – “Refrigerating and cryogenic engineering, conditioning systems”, Odessa State Academy of Refrigeration, Odessa, 2002.

The up-to-date state of the problem was examined and the main trends in the solar power engineering development in reference to solving problems of thermosupply and cooling were revealed. Were worked out main standards for the modern solar systems. New solutions for GS with flat SC were elaborated, minimization of energy expenditure and ecologically harmful results of their practical use were taken into consideration. The work has theoretical, experimental and applied character and was being carried out in OSAR and Solar center of Algeria in parallel.

The math model of thermo-syphon drain solar GS system was elaborated; the grounds of heat transfer regime of quazistationarity for collector, pipelines and for laminar liquid flow character in closed hydraulic GS circuit; the algorithm of design of solar energy density per unit of inclined collector area for any of its position on the Earth surface was elaborated (calculations were performed in the mathematical package MatLab); the methodic of design of optimal inclination of flat SC with reference to the horizon, depending on the latitude of place, on which the absorbing solar energy is a maximum was worked out.

The experimental investigation of full-scale of flat solar collectors was conducted on the testing ground. Theoretical and experimental results are in good correspondence. The plant layouts and principles of engineer implementation GS and solar liquor ammonia refrigerating systems were elaborated. The full-scale experimental plants of solar heating and cooling were elaborated (thermosupply systems in Ukraine, refrigerating – in Algeria), which have shown compliance with high characteristics of developed systems.

Key words: flat solar collectors, experimental plants, solar heating systems, solar refrigerating systems.

