

На правах рукопису

Мойсеєнко Вячеслав Вадимович

СИСТЕМНА РОЗРОБКА  
СОНЯЧНОГО КОЛЕКТОРА ДЛЯ  
ДЕЦЕНТРАЛІЗОВАНОГО ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ

05.23.03 - Теплопостачання, газопостачання,  
вентиляція, кондиціонування  
повітря та освітлення

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т  
дисертації на здобуття вченого ступеня  
кандидата технічних наук

Київ 1992

Лб 26.386

Робота виконана в Державному науково-дослідному інституті санітарної техніки та обладнання будівель і споруд.

Науковий керівник:	доктор технічних наук, професор, Б.В.Тарнішевский
Офіційні опоненти:	доктор технічних наук, професор Б.Х.Драганов, кандидат технічних наук, доцент А.П.Цепелев
Провідна організація:	Інститут КиївЗНДІЕП

Захист відбудеться "10" березня 1993 року о 13 годині на засіданні спеціалізованої ради К 068.05.08 в Київському інженерно - будівельному інституті за адресою: 252037, Київ-37, Повітрофлотський проспект, 31.

С дисертацією можна ознайомитись в бібліотеці КІБІ.  
Автореферат розісланий "1" лютого 1993 року.

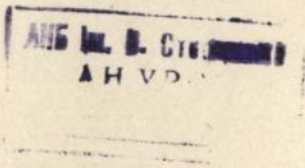
Вчений секретар  
спеціалізованої ради,  
канд.техн. наук, професор

В.Ф. Накорчевська

ЛННБ України ім.В.Стефаніка



00825535 (S)



Актуальність теми. Екологічні проблеми, що супроводять традиційну енергетику, заставляють звертатися до створення та розробки різноманітних улаштувань для використання поновлюваних джерел енергії. Кліматичні умови України сприятливі для використання сонячної енергії – сумарне надходження енергії за рік складає 3,65 .. 5,15 ГДж на квадратний метр горизонтальної поверхні. Системи сонячного нагрівання можуть зменшити використання паливних ресурсів, в першу чергу, в гарячому водопостачанні та низькотемпературному опаленні децентралізованих споживачів. Важливим питанням розвитку сонячного теплопостачання є створення теплотехнічно ефективних та економічно виправданих конструкцій сонячних колекторів.

Ціль роботи полягає в розробці методу багатоваріантного аналізу конструкцій сонячних колекторів, що підвищує ефективність прийняття рішень при створенні нових та вдосконаленні існуючих моделей; розробці пристроїв та процедури експериментального зіставлення варіантів конструкцій колекторів в незалежних від погоди умовах з допомогою штучних джерел випромінювання.

Основні задачі дослідження:

- розглянути математичну модель колектора та визначити залежність ККД колектора від конструкційних параметрів;
- розробити алгоритм та програмне забезпечення для моделювання сонячного колектора;
- розробити метод оптимізації сонячного колектора на основі узагальненого критерію, програмне забезпечення, необхідне для його реалізації, та провести варіантні розрахунки;
- створити лабораторну установку, що дозволяє в умовах зіставлення проводити експериментальні дослідження сонячних колекторів;
- дослідити радіаційний теплообмін при випробуваннях сонячних колекторів на стенді – імітаторі сонячного випромінювання;
- дослідити адекватність регресійної моделі опрацювання результатів вимірювань;
- розробити методику випробувань та провести експериментальні дослідження сонячного колектора.

Наукову новизну роботи складають:

- системна трикритеріальна детермінована модель плоского сонячного колектора;
- результати визначення, класифікації та дослідження множини ва-

- різвальних параметрів плоского сонячного колектора;
- результати експериментального дослідження радіаційного теплообміну на стенді - імітаторі сонячного випромінювання;
- уточнення регресійної моделі сонячного колектора при випробуваннях шляхом визначення дисперсії відтворення миттєвого ККД.

Практична значимість полягає в методичному, експериментальному та програмному забезпеченні розробки сонячних колекторів. Розроблено метод оптимізації конструкції плоского сонячного колектора, призначений для багатоваріантного аналізу на ЕОМ. Створена експериментальна установка імітаційного типу для зіставлення варіантів конструкцій сонячних колекторів. Розроблена методика випробувань колекторів в імітованих умовах з уточненим опрацюванням результатів вимірювань. Розроблена програма для опрацювання відповідно до методики випробувань колекторів. Запропонована нова конструкція експериментальної установки, на яку одержано авторське свідоцтво № 1697033. Результати досліджень використані при розробці конструкцій для виробництва сонячних колекторів на заводі "Ірпеньмаш" та Зуйському монтажно-заготівельному заводі.

Апробація роботи. Матеріали дисертаційної роботи доповідались та обмірковувались на 47-ій та 51-ій науково-технічних конференціях Київського інженерно-будівельного інституту; Республіканському семінарі "Використання сонячної енергії в народному господарстві" ( м. Київ, 1987 р. ), Республіканському семінарі "Проектування, будівництво та експлуатація установок сонячного теплохолодопостачання" ( м. Київ, 1988 р. ), Республіканській науково-технічній конференції "Основні напрямки та досвід використання нетрадиційних джерел енергії в народному господарстві" ( м. Душанбе, 1988 р. ), Республіканському семінарі "Підвищення ефективності установок сонячного теплохолодопостачання" ( м. Київ, 1991 р. ), Республіканській науково-технічній конференції "Використання сонячної енергії в народному господарстві" ( м. Ташкент, 1991 р. ), Республіканській науково-технічній конференції "Сонячна енергетика: європейський досвід та Україна" ( м. Київ, 1991 р. ).

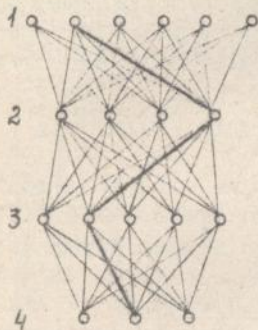
Публікації. По темі дисертації опубліковано 12 робіт, в тому числі 3 авторських свідоцтва на винаходи.

Структура та обсяг роботи. Дисертація складається із вступу, трьох розділів, загальних висновків, бібліографії з 85 найменувань та семи додатків. Викладена на 203 сторінках машинописного тексту,

## ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовується актуальність роботи та подана її коротка характеристика.

В першому розділі викладено огляд відомих конструкцій плоских сонячних колекторів. Розглянуті відомі системні дослідження технічних улаштувань. Мляком аналізу задачі конструювання сонячного колектора виконана постановка системної задачі. Провівши функціонально-структурну декомпозицію сонячного колектора можна подати задачу конструювання у вигляді дерева рішень ( мал.1 ), Одначе приведена схема не відображає доцільності конструювання. Друге утруднення зводиться до того, що за точкою, яка подає можливе значення об'єкта вибору знаходиться набір параметрів. При цьому неможливо бути наперед упевненим в рівноцінності цих параметрів або переважному значенні одного з них. І нарешті існує протиріччя між розчленованістю розрахунових методів та суцільністю вирішуваної задачі конструювання, оскільки якість сонячного колектора в цілому не є простим сумом якостей складаючих його елементів.



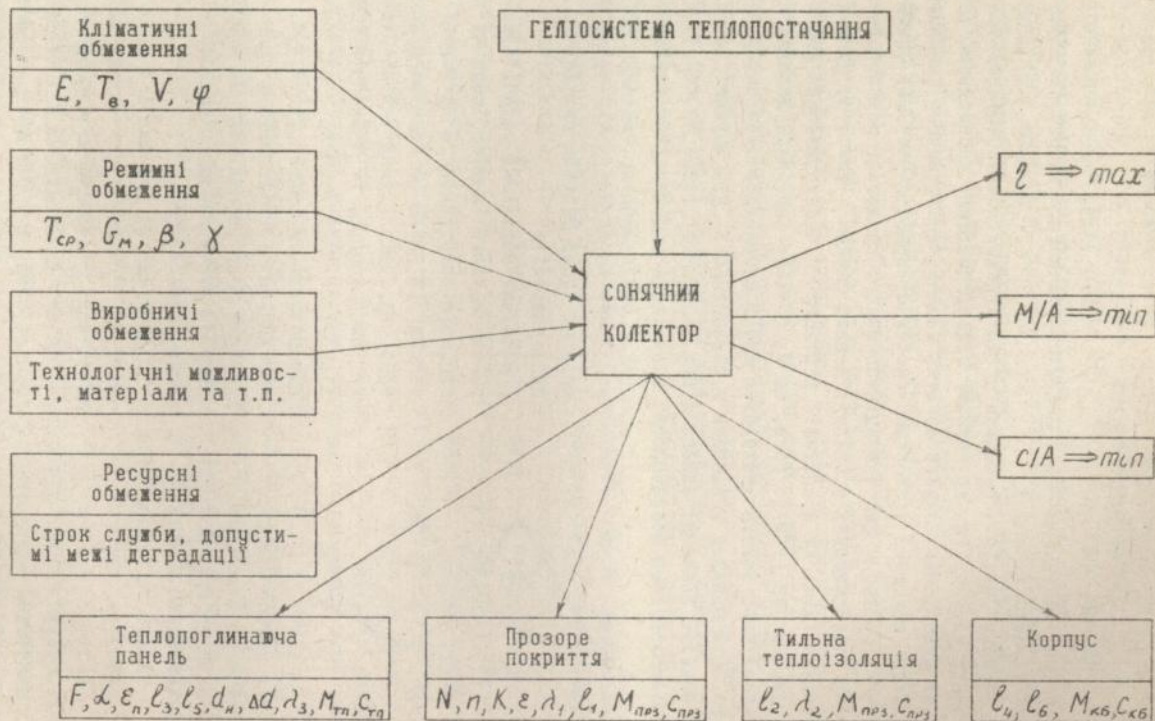
Мал.1 Дерево рішень сонячного колектора; об'єкти вибору: 1 - теплоприймаюча панель, 2 - тильна теплоізоляція, 3 - прозоре покриття, 4 - корпус.

Всебічне вирішення задачі створення нових та аналізу існуючих конструкцій можна досягти на основі системного підходу до сонячного колектора. На мал.2 подана запропонована системна модель, що в значній мірі відповідає суті процесу створення конкретного сонячного колектора.

В другому розділі проводиться теоретичне дослідження сонячного колектора на основі запропонованої системної моделі.

Відповідно до системної моделі конструкція сонячного колектора залежить від  $r$  варіювальних параметрів

$Z_1, Z_2, \dots, Z_r$ , котрі будемо рахувати точкою  $Z = (Z_1, \dots, Z_r)$  в  $r$ -мерному просторі. Варіювальні параметри входять в рівняння, що описують функціонування сонячного колектора. Мавтяться цільові функції



Мал.2 Системна модель сонячного колектора

$\Phi(y), y=(1, \dots, k)$ . Їх необхідно екстремізувати. Цільові функції утворюють тримірний простір. Перша цільова функція - ККД - обмежена принципіально діапазоном значень  $0 \dots 1$ . Друга та третя цільові функції являють собою від'ємні значення загального приросту маси та вартості колектора; вони обмежені лише з одного боку нульовим значенням. Таке подання вектора критеріїв забезпечує загальний для всіх його компонент напрям (градієнт) екстремуму.

Обмеження, що входять в системну модель колектора, при узагальненні зводяться тільки до двох принципово важливих формалізованих обмежень: параметричних та функціональних. Щоб уникнути явно недопустимих значень окремих цільових функцій, вводяться критеріальні обмеження. Параметричні обмеження виділяють в  $n$ -мірному просторі параметрів паралелепіпед (множину)  $\Pi$  обсягом

$$V = \prod_{j=1}^n (z_j^* - z_j')$$

Функціональні обмеження виділяють в  $\Pi$  деяку підмножину  $G$ . Всі три види обмежень виділяють допустиму множину  $D$ , тобто множину варіантів  $Z$  конструкції, задовольняючих ці обмеження таким чином, що  $\Pi$  - підмножина  $G$ , а  $G$  - підмножина  $D$ . Якщо функції  $F_i(Z)$  та  $\Phi(Z)$  безперервні в  $\Pi$ , то множини  $G$  та  $D$  замкнуті. Необхідно знайти таку множину  $P$ , що належить  $D$ , для якого

$$\Phi(P) = \min_{z \in D} \Phi(z)$$

де  $\Phi(Z) = (F_1(Z), \dots, F_k(Z))$  - вектор критеріїв,

Згідно з визначенням точка  $Z^* (Z^* \in D)$  називається оптимальною по Парето, якщо не існує точки  $Z \in D$ , такої що  $\Phi(Z) < \Phi(Z^*)$  для всіх  $y=(1, \dots, k)$  та хоча б для одного  $y \Phi(Z) < \Phi(Z^*)$ . Множина  $P$ , що належить  $D$ , називається парето-оптимальною, якщо вона складається із усіх оптимальних по Парето точок.

Перша цільова функція колектора - ККД - визначається із математичної моделі, що описує його тепловий стан. Для визначення ККД при системному дослідженні колектора застосована стаціонарна модель НВВ Хотеля-Чилера-Бліса.

Фігуруючі в визначенні першої цільової функції величини є варіювальними параметрами. Зміні варіювального параметру конструкції відповідає певний приріст маси та вартості. Склавши окремі прирости мас та вартостей параметрів конструкції в рамках одного варіанту одержим другу та третю цільові функції колектора - повний приріст маси та вартості. На відміну від першої цільової функції-

- ККД - для другої та третьої функції необхідно знайти мінімуми.

На основі проведеного аналізу розроблено алгоритм моделювання сонячного колектора. Одержаний алгоритм дозволяє, ґрунтуючись на параметрах конструкції, побудувати допустиму множини варіантів конструкції колектора та виділити в ній парето-оптимальні варіанти.

Розроблена програма забезпечує побудову парето-оптимальної множини варіантів конструкції сонячного колектора в тримірному-декомпозованому просторі цільових функцій. Програма може застосовуватися на IBM-сумісних комп'ютерах с обсягом ОЗУ від 640 кілобайт та вище.

На основі розробленої програми було проведено дослідження одноступінчатого сонячного колектора при різних значеннях варіювальних параметрів.

Критерієм істотності параметра згідно з методикою чисельного дослідження є ширина інтервалу ККД, що відповідає можливому діапазону варіювання параметра.

Для створення методу розрахункової оптимізації сонячного колектора запропоновано узагальнений критерій, що відповідає інтересам споживача обладнання данного виду.

С точки зору споживача, що витрачає кошти на придбання сонячного колектора для створення та використання установки сонячного тепlopостачання (горячого водopостачання) найважливішою характеристикою є порівняння витрат з тією користю, яку він може одержати використовуючи колектор. Через те для споживача найкращою конструкцією колектора буде та, яка забезпечує більш низьку вартість одиниці виробленої теплової енергії.

У відповідності з цим узагальненим критерієм оптимізації  $S$  є вартість одиниці теплової енергії, виробленої колектором за весь строк його служби:

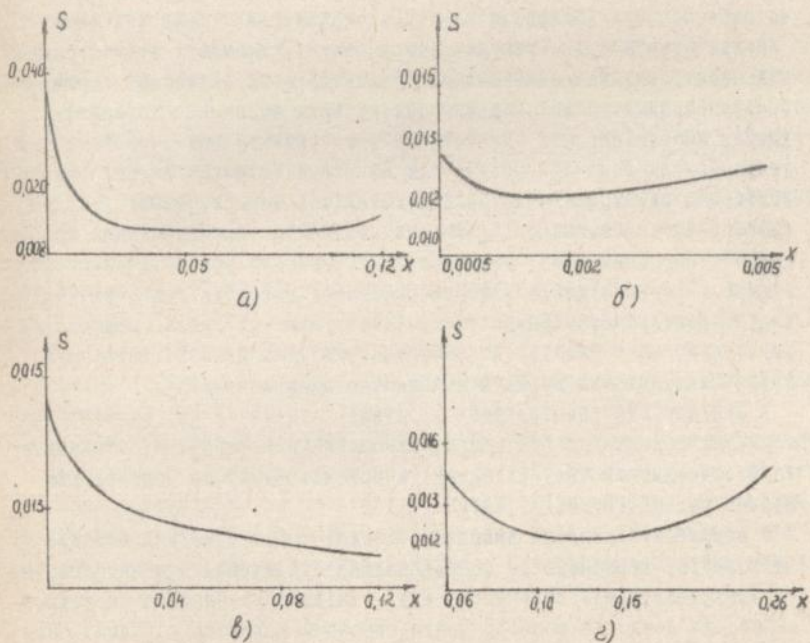
$$S = \frac{C}{q \cdot \eta \cdot \xi_r}$$

де  $C$  - питома вартість колектора, крб/м<sup>2</sup>;  $q$  - питома потужність колектора в нормованих умовах, Вт/м<sup>2</sup>;  $\eta$  - строк служби колектора, років;  $\xi_r$  - число годин роботи колектора на рік, год/рік. Зворотна системна задача полягає у визначенні варіанту конструкції, при якій запропонований узагальнений критерій приймає мінімальне значення.

Для вирішення цієї задачі було проведено дослідження множини ( простору ) аналізованих параметрів конструкції.

Були побудовані залежності критерію оптимізації від товщини прозорого покриття, товщини стінки корпусу, зовнішнього діаметра та товщини стінки каналу для руху теплоносія. Всі перелічені залежності зростають і мінімум критерія оптимізації знаходиться на нижній межі діапазону варіювання. По підсумковому впливу на критерій оптимізації можна стверджувати, що при виборі товщини складоного прозорого покриття, бокової стінки корпусу, діаметра та товщини стінки каналу необхідно досягати найменш можливих значень, виходячи з міркувань міцності.

Залежності критерію оптимізації від міжцентрової відстані, товщини тильної ізоляції, листа та повітряного проміжку ( мал.3 ) мають нелінійний характер та мають мінімум всередині досліджува-



Мал.3 Нелінійні залежності узагальненого критерію ( $S$ , крб/кВт.г) від: а) товщини тильної теплоізоляції, б) товщини листа, в) товщини повітряного проміжку, г) міжцентрової відстані ( $X$ , м).

ного інтервалу значень. Таким чином знаходження мінімуму узагальненого критерію порівняння необхідно проводити в чотиримірному просторі слідуєчих параметрів: міжцентрної відстані, товщини тильної ізоляції, листа та повітряного проміжку.

Для вирішення цієї задачі була створена програма, що розв'язує цю задачу методом послідовного перебору. Наявність програми для проведення оптимізації усуває залежність методу від цінових пропорцій, дає можливість проводити дослідження та досягати практичних результатів в будь-яких цінових умовах. Прийняті нормовані параметри відповідають умовам роботи колектора в кліматі України на протязі більшої частини року: густина випромінювання - 500 Вт/м<sup>2</sup>, температура зовнішнього повітря - 10 °С, швидкість вітру - 5 м/с, середньорічне число годин роботи колектора 1800 год/рік. В результаті варіантних розрахунків на ЕОМ одержано дані про конструкційні параметри із низки металевих та неметалевих матеріалів, що забезпечують найменшу вартість виробленої теплової енергії.

В третьому розділі розглядаються задачі, пов'язані з експериментальними дослідженнями сонячних колекторів на імітаторі сонячного випромінювання. Огляд відомих імітаційних установок та аналіз джерел випромінювання показав, що експериментальні установки для випробування сонячних колекторів на основі штучних джерел випромінювання одержують в останнє десятиліття широке розповсюдження, забезпечують незалежність повного комплексу випробувальних процедур від погодних умов, можливість зіставлення результатів випробувань та відповідають вимогам системної розробки сонячних колекторів. Доцільність використання імітаційних установок при системно-структурному аналізі підтверджується працями О.П.Цепелєва в галузі моделювання кліматичних умов в приміщеннях.

В країнах СНД спеціалізований стенд - імітатор для випробування сонячних колекторів був уперше створений в КиївЗНДІЕП. Створюють та удосконалюють такі установки в організаціях, що розробляють колектори: НДІСТ, ЕНІН, ІВТАН, КІБІ.

В результаті аналізу виявлені основні характеристики стендів - імітаторів, визначена їх функціональна структура. Для експериментальних досліджень створено стенд - імітатор сонячного випромінювання, що дозволяє випробовувати сонячний колектор в умовах, моделюєчих спектральні та просторові характеристики наземної сонячної радіації. Установка включає в себе світлооптичну та теплогідравлічну частини. Імітуюче сонячне випромінювання генерується металогалогенними лампами ДРИ-3500 з кольоровою температурою 4200 К.

Схема теплогідравлічної частини стенду показана на мал. 4.

В загальному вигляді створена експериментальна установка характеризується наступними технічними параметрами: електрична потужність повна – 28 кВт; електрична потужність джерел випромінювання – 21 кВт; електрична потужність нагрівального пристрою – 7 кВт; кількість джерел випромінювання – 6, площа робочого поля випробування – 2 м<sup>2</sup>; густина потоку випромінювання в межах робочого поля – 500..1100 Вт/м<sup>2</sup>; нерівномірність густини потоку випромінювання в межах робочого поля – 12%; кут розбіжності пучка випромінювання – 22 гр; максимальна витрата теплоносія, що забезпечує необхідні для випробувань параметри – 100 кг/год; діапазон регулювання температури теплоносія – 25...85 °С.

При дослідженні адекватності імітаційних умов натурним виявлено спотворюючий вплив інфрачервоних теплових потоків.

Теплове випромінювання на імітаторі в першу чергу обумовлено нагрівом лицьових поверхонь світлових приладів.

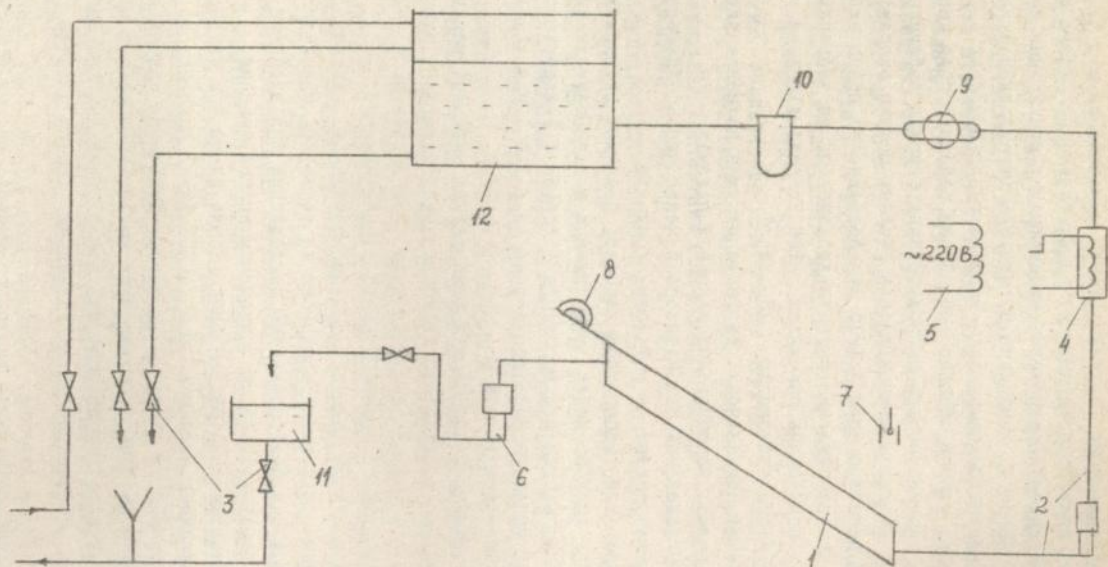
З метою визначення температури лицьової поверхні світлових приладів на стенді були проведені вимірювання в рівноважному тепловому стані. Було визначено, що зовнішні поверхні використовуваних освітлювальних приладів нагріваються до 130..160 °С при температурі оточуючого повітря 15..30 °С.

По закону зміщення Віна при цій температурі поверхні максимум монохроматичної густини потоку теплового випромінювання знаходиться в зоні 7 мкм і на хвилі, довжина яких перевищує 4 мкм, приходить 97,9..98,8% повної енергії випромінювання.

Таким чином сонячний колектор при випробуваннях знаходиться під спільним впливом імітуючого сонячного та теплового випромінювання. В зв'язку з цим було проведено дослідження радіаційного теплообміну на стенді – імітаторі сонячного випромінювання.

Для попередньої оцінки радіаційного теплообміну був виконаний розрахунок. Сдержана величина  $q_{\text{радіа}} = 359 \text{ Вт/м}^2$  показує, що теплове випромінювання на стенді – імітаторі сонячного випромінювання може досягати значень, порядок яких мало відрізняється від імітуючого сонячного випромінювання. Для зіставлення був проведений розрахунок системи при інших значеннях ступеня чорноти поверхонь.

Експериментальне визначення теплового випромінювання в площині сонячного колектора здійснювалось у такий спосіб. Світлові прилади вмикались на час, необхідний для досягнення рівноважного теплового стану ( 3600..7200 с ). Цей стан визначався вимірюванням



Мал.4 Схема підключення колектора на стенді: 1 - сонячний колектор, 2 - трубопроводи, 3 - регулюючі вентиля, 4 - електронагрівач, 5 - джерело електричного струму, 6 - давач температури теплоносія, 7 - давач зовнішньої температури, 8 - піранометр, 9 - витратомір, 10 - фільтр, 11 - вимірвальний бак, 12 - напірний бак.

температури поверхні світлового приладу.

З допомогою головки піранометра ( спектральний діапазон 0,3.. ..2,4 мкм ) вимірювалось імітуюче сонячне випромінювання в площині сонячного колектора. Як вторинний прилад використовувався гальванометр ГСА-1М-А. Після цього світлові прилади вимикались і після спаду імітуючого сонячного випромінювання до нуля визначалась густина результуючого теплового потоку. Вимірювання теплового випромінювання здійснювалось датчиком РОП-1 ( спектральний діапазон 0,2..24 мкм ). Як вторинний прилад використовувався вольтметр Ф283.

Результати вимірювання по описаній методиці приведені на мал.5. Виміряне значення  $E_p = 560 \text{ Вт/м}^2$ ; тривалість другого періоду складала 40..50 с ( з урахуванням сталої часу головки піранометра ); виміряне значення  $E_p' = 150 \text{ Вт/м}^2$ . Ця величина одного порядку з розрахунковою оцінкою, не перевищує її і отже узгоджується з висновком гіпотезою про існування теплового радіаційного впливу при випробуваннях.

На основі проведеного аналізу запропонована удосконалена конструкція стенда, на яку одержане авторське свідоцтво 1697033.

При випробуваннях сонячних колекторів визначають комплексні параметри  $F'(\tau_L)$ ,  $F'K_K$ , що характеризують ефективність нагріву сонячною радіацією та теплові витрати. Шукані характеристики визначаються шляхом опрацювання результатів випробування, як коефіцієнти одномірної лінійної регресії

$$z_i = F'(\tau_L) - F'K_K R_i \pm \varepsilon_i, \quad (i = 1, 2, \dots, m) \quad (1)$$

де

$$z = C_p G_M (T_K - T_H) / A \cdot E_K \quad (2)$$

$$R = (T_{cp} - T_B) / E_K \quad (3)$$

Було виявлено, що дисперсія результатів спостереження зростає з ростом ККД. Дисперсія результатів спостереження миттєвого ККД, як посередньо виміряної величини має вигляд

$$\sigma_z^2 = \left( \frac{\partial z}{\partial G_M} \delta G_M \right)^2 + \left( \frac{\partial z}{\partial E_K} \delta E_K \right)^2 + \left( \frac{\partial z}{\partial T_K} \delta T_K \right)^2 + \left( \frac{\partial z}{\partial T_H} \delta T_H \right)^2 \quad (4)$$

Сумісне вирішення рівнянь ( 2 ) та ( 4 ) дає результат:

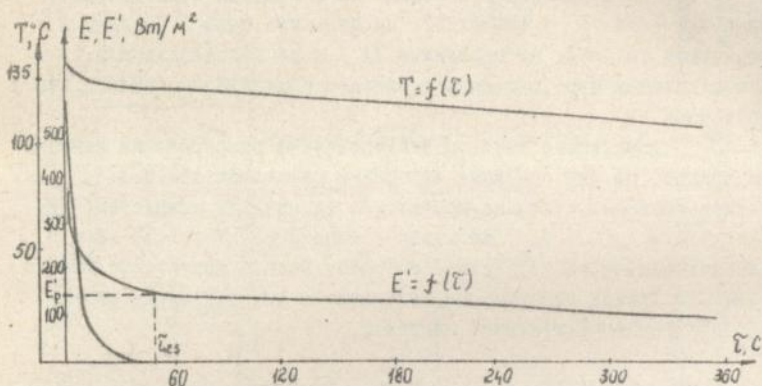
$$\sigma_z^2 = \left( \frac{C_p G_M}{A \cdot E_K} \right)^2 [ (\delta T_K)^2 + (\delta T_H)^2 + \{ (\delta G_M / G_M)^2 + (\delta E_K / E_K)^2 \} (T_K - T_H)^2 ] \quad (5)$$

Для врахування нерівноточності спостережень ККД та одержання найкращих лінійних оцінок коефіцієнтів регресії  $F'(\xi_d)$  та  $F'K_k$  пропонується мінімізувати суму зважених квадратичних відхилень

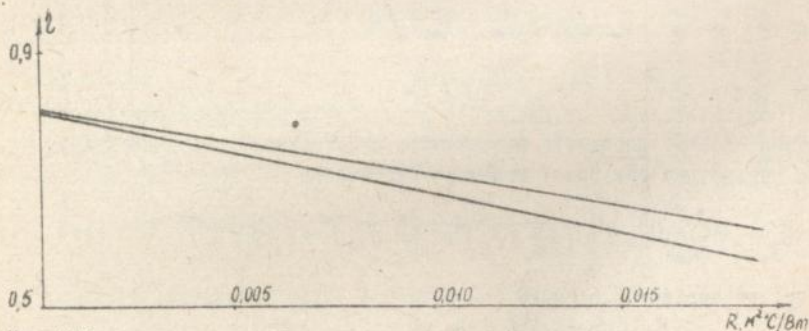
$$\sum (1/\sigma_{z_i}^2) (z_i - F'(\xi_d) + F'K_k \cdot R_i)^2 = \min$$

При цьому "вага" 1-го відхилення  $1/\sigma_{z_i}^2$  визначається з допомогою формули (5). В результаті підвищується достовірність розрахунків систем сонячного теплопостачання, де характеристики колектора фігурують в основних співвідношеннях.

На основі проведених досліджень розроблена методика випробувань та паскаль-програма для реалізації регресійної моделі.



Мал.5 Результати вимірювання радіаційних потоків на стенді



Мал.6 Результати випробувань колекторів: 1 - з герметичним проміжком, 2 - з порушенням герметичності проміжка

На основі розробленої методики випробувань на спорудженому в НДІСТ стенді - імітаторі був досліджений сонячний колектор. Ціль дослідження полягала в визначенні істотності інфільтрації в повітряному проміжку через нещільності. В результаті випробування визначена теплова характеристика при герметичному повітряному проміжку та з порушенням герметичності вентиляційного отвору діаметром 15 мм на боковій стінці. Для колектора з герметичним повітряним проміжком  $F(\alpha) = 0.816$ ,  $F'K_x = 9.181 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ , при  $\sigma_c^2 = 0.0001736$ ,  $\sigma_i^2 = 0.5636$ ,  $\tilde{K}^2 = 0.008405175$ .

Для колектора с порушеною герметичністю повітряного проміжку  $F(\alpha) = 0.806$ ,  $F'K_x = 11.967 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ , при  $\sigma_c^2 = 0.0003054$ ,  $\sigma_i^2 = 0.9291$ ,  $\tilde{K}^2 = 0.0146521$ .

Порівняння теплових характеристик приведено на мал.б.

Таким чином, негерметичність повітряного проміжку збільшує теплові втрати сонячного колектора на 30%. Це, в свою чергу, призводить до зменшення ККД на 12% в режимі горячого водопостачання ( $E_x = 700 \text{ Вт}/\text{м}^2$ ,  $T_{cp} = 50^\circ\text{C}$ ,  $T_a = 20^\circ\text{C}$ ).

При роботі колектора в складі систем сонячного тепlopостачання або установок горячого водопостачання відбувається зниження тепlopродуктивності за рахунок теплових втрат трубопроводів в обв'язці. Для визначення впливу обв'язки сонячного колектора та забезпечення істотності результатів випробувань було виконане тарування теплоізолюваних підведень, яке зводилось до виявлення теплових втрат, що приходяться на них. Шляхом віднесення теплових втрат до площі колектора кількісно визначено вплив підведень на теплову характеристику колектора.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Аналіз задачі розробки сонячного колектора показав, що незважаючи на велику вивченість теплообмінних процесів в колекторі, існує проблема прийняття рішень по елементам конструкції в  $n$ -мірному ( $n > 1$ ) просторі цілових функцій при наявності ряду обмежень. Вирішення зазначеного питання пов'язано з системним аналізом конструкції сонячного колектора та зіставлюванню, відтворенню експериментальною перевіркою.

2. В результаті дослідження прямої трикритеріальної детермінованої системної задачі розробки сонячного колектора визначено простір вектора критеріїв, множина варіювальних параметрів, розроблено алгоритм і програму моделювання на ЕОМ.

3. З метою дослідження множини варіювальних параметрів проведена класифікація та аналіз на основі методики, що порівнює варіювальні параметри по їх впливу на підсумковий ККД сонячного колектора. Проведено чисельне дослідження односкляного сонячного колектора з металевим абсорбером на ЕОМ. Встановлено, що діапазон зміни ККД при варіюванні параметрів виявився найбільшим для товщини тильної ізоляції ( 19,27% ), міжцентрної відстані каналів абсорбера ( 17,60% ), коефіцієнтів теплопровідності абсорбера ( 14,19% ) і тильної теплоізоляції ( 10,32% ), ступеня чорноти скла ( 11,58% ) та поверхні абсорбера ( 10,32% ).

4. Запропоновано узагальнений критерій порівняння конструкцій сонячних колекторів та розроблена методика аналізу конструкцій; з метою проведення варіантних розрахунків вибору конструкцій опрацьована паскаль-програма для вибору найкращого варіанту конструкції шляхом визначення найменшого значення узагальненого критерію в просторі конструкційних параметрів. Дослідження простору конструкційних параметрів показало, що знаходження мінімуму узагальненого критерію порівняння можна проводити в чотириірному просторі параметрів: міжцентрної відстані, товщини тильної ізоляції, листа та повітряного проміжку.

5. Варіантні розрахунки по узагальненому критерію в цінових пропорціях 1989 року показали:

- найбільш ефективними є конструкції колектора на основі мідної трубки та листа із конструкційної сталі (  $S = 003188$  крб/(кВт.год) ) або алюмінія (  $S = 003189$  крб/(кВт.год) ) при товщині тильної ізоляції 0,085 м, повітряного проміжку 0,04 м та товщини листа 0,001 м ( конструкційна сталь ) і 0,0005 м ( алюміній ), міжцентрної відстані 0,10 ( конструкційна сталь ) та 0,11 м ( алюміній );

- ефективність колекторів на основі латунної трубки виявилась нижче ефективності конструкцій на основі мідної трубки в 2 рази (  $S = 0063...0,0074$  крб/(кВт.год) );

- ефективність колекторів на основі трубки із легованої сталі виявилась нижче ефективності конструкцій на основі мідної трубки в 3 рази (  $S = 0093...0,0115$  крб/(кВт.год) );

- неметалеві колектори із існуючих матеріалів менш ефективні, ніж металеві; для створення ефективних конструкцій полімерних конструкцій полімерних колекторів необхідно модифікувати існуючі матеріали з метою збільшення строку служби;

- найкращим матеріалом для полімерних конструкцій колекторів

виявився поліпропілен ( $S = 014$  крб/(кВт.год) ); найменша ефективність у поліетиленового колектора ( $S = 018$  крб/(кВт.год) );  
- застосування плівкового покриття не поліпшує ефективності колекторів. В результаті варіантних розрахунків одержані дані про конструкційні параметри колекторів з металевих та неметалевих матеріалів, що забезпечують найменшу вартість вироблюваної теплової енергії.

6. Аналіз відомих імітаторів сонячного випромінювання показав, що експериментальні установки для випробування сонячних колекторів на основі штучних джерел випромінювання одержують в останнє десятиліття широке розповсюдження, забезпечують незалежність повного комплексу випробувальних процедур від погодних умов, зіставляє результати випробувань та відповідають вимогам системної розробки сонячних колекторів. Розроблена та створена експериментальна установка на основі штучних джерел випромінювання для випробувань колекторів, яка забезпечує поверхневу густину випромінювання в тест-площині до  $1100$  Вт/м<sup>2</sup> на площі до  $2$  м<sup>2</sup> з нерівномірністю  $12\%$ .

7. Установлено характер впливу радіаційного теплообміну в системі стэнд - колектор на адекватність випробувань натурним умовам. Вперше кількісно оцінена, теоретично та експериментально, величина паразитного інфрачервоного випромінювання на стэнді та запропонована методика його вимірювання. Запропоновано новий спосіб та конструкція стэнда, що забезпечують придушення паразитних теплових потоків в світловодному елементі. На конструкції стэнда одержано авторське свідоцтво N 1697033.

8. При статистичному дослідженні процедури опрацювання результатів випробувань сонячного колектора виявлена нерівномірність дисперсії відтворення миттєвого ККД в експериментальних точках; тобто застосування методу найменших квадратів з рівними ваговими коефіцієнтами вносить спотворення в результати випробувань. Для врахування цього явища шляхом застосування зваженого методу найменших квадратів одержана залежність, що дозволяє визначити дисперсію відтворення миттєвого ККД. Запропонована регресійна модель опрацювання результатів вимірювань дозволяє зняти зсування оцінок  $F'(\alpha)$  та  $F'_{K_K}$ , що обумовлене нерівністю дисперсії відтворення миттєвого ККД та зменшує підсумкову похибку визначення паспортних даних сонячного колектора.

9. Розроблена, затверджена та застосовується при розробці колекторів в НДІСТ ( м. Київ ) методика випробувань, що базується на

опрацюванні результатів випробувань зваженим методом найменших квадратів. Розроблена програма для опрацювання результатів та визначення добутку оптичного ККД та коефіцієнта ефективності, добутку коефіцієнта теплових втрат та коефіцієнта ефективності разом з довірливими інтервалами і кореляційним моментом.

10. Експериментально встановлена істотність інфільтрації в повітряному проміжку колектора. Інфільтрація через вентиляційний отвір діаметром 15 мм призводить до збільшення теплових втрат на 30% та відповідному зменшенню ККД на 12%. В результаті експериментального дослідження впливу теплоізолюваної трубною обв'язки на загальний коефіцієнт теплових втрат сонячного колектора визначено, що кожний метр теплоізолюваної трубною обв'язки збільшує коефіцієнт теплових втрат колектора на  $0,43 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$  і цю величину необхідно враховувати при визначенні теплопродуктивності систем сонячного теплопостачання.

Основний зміст дисертації опубліковано в наступних роботах:

1. Мойсеєнко В.В., Шмедрик А.А., Легкун Е.П., Смирнов С.В. Обработка результатов испытаний солнечных коллекторов взвешенным методом наименьших квадратов // Строительные материалы, изделия и санитарная техника, 1989, вып.12. - с. 120-123
2. Мойсеєнко В.В., Смирнов С.В. Численное исследование тепловых потерь солнечного коллектора при поглощении излучения прозрачным покрытием // Гелиотехника, 1990, №3, с. 7-9
3. Мойсеєнко В.В., Ферт А.Р. Оценка радиационного теплообмена при испытаниях солнечных коллекторов на стенде - имитаторе солнечного излучения // Гелиотехника, 1990, №6, с. 10-14
4. Солнечный коллектор. А.с. № 1536178 СССР, МКИ F 24 J 2/26 / Мойсеєнко В.В., Легкун С.В. - 3 с.
5. Солнечный коллектор. А.с. № 1643888, МКИ F 24 J 2/26 / Мойсеєнко В.В., Легкун Е.П., Смирнов С.В. - 2 с.
6. Полный световод для монохроматического излучения. А.с. № 1697033 СССР, МКИ G 02 B 6/00, F 21 V 8/00 / Мойсеєнко В.В., Зельцер А.Я., Легкун Е.П., Смирнов С.В. - 4 с.
7. Мшико В.Л., Мойсеєнко В.В., Смирнов С.И., Смирнов С.В. Оптимизация толщин воздушного зазора и тыльной тепловой изоляции плоского солнечного коллектора. Гелиотехника, 1991, №1, с. 15-18
8. Мойсеєнко В.В., Смирнов С.В., Легкун Е.П., Шнерк А.С. Анализ погрешностей при испытаниях солнечных коллекторов // Строительные материалы, изделия и санитарная техника, 1991,

вип.14. - с. 65-68

9. Мойсеенко В.В., Смирнов С.В. Методическое обеспечение инженерных расчетов гелиосистем теплоснабжения. Водоснабжение и санитарная техника, 1991, N3, с. 31-32

10. Тарнижевский Б.В., Мышко Ю.Л., Мойсеенко В.В. Обобщенный критерий оптимизации конструкций плоских солнечных коллекторов // Гелиотехника, 1992, N4, с. 31-34

11. Мойсеенко В.В., Мышко Ю.Л., Смирнов С.В. Численное системное исследование солнечного коллектора // Гелиотехника, 1992, N5, с. 29-31

12. Тарнижевский Б.В., Мойсеенко В.В., Мышко Ю.Л., Смирнов С.В. Системный анализ солнечного коллектора на основе обобщенного критерия // Гелиотехника, 1992, N5, с. 32-37

Підп. до друку 19 01 93 . Формат 60×84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>.  
Папір друк. № 3 . Спосіб друку офсетний. Умови друк. арк. 0,93 .  
Умови фарбо-відб. 1,16 . Обл.-вид. арк. 1,0 .  
Тираж 100 . Зам. № У-6 . Безплатно.

---

Фірма «ВІПОЛ»  
252151, Київ, вул. Волинська, 60.

AB 26.386

**AB 26.386**