

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»**

ПОНА ОСТАП МИРОНОВИЧ



УДК 620.97: 697.329

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ КОМБІНОВАНОЇ СИСТЕМИ
ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ З ГЕЛІОПОКРІВЛЕЮ**

Спеціальність 05.14.06 – Технічна теплофізика та промислова теплоенергетика

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня

кандидата технічних наук

Львів - 2018

Дисертацією є рукопис

Робота виконана у Національному університеті «Львівська політехніка»
Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник:

доктор технічних наук, професор,
Заслужений діяч науки і техніки України

Мисак Йосиф Степанович

Національний університет «Львівська
політехніка».

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор
Баласанян Геннадій Альбертович,
Одеський національний політехнічний
університет, професор кафедри теплових
електричних станцій та енергозберігаючих
технологій

кандидат технічних наук, доцент
Новаківський Євген Валерійович,
Національний технічний університет
«Київський політехнічний інститут»,
доцент кафедри атомних електричних
станцій і інженерної теплофізики

Захист відбудеться « ____ » _____ 2018 р. о ____ годині на
засіданні спеціалізованої вченої ради Д 35.052.04 у Національному університеті
«Львівська політехніка» за адресою: 79013, м. Львів, вул. Устияновича, 5,
корпус 10, ауд. 51.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Національного університету
«Львівська політехніка» за адресою: 79013, м. Львів, вул. Професорська, 1.

Автореферат розісланий « ____ » _____ 2018 р.

*Вчений секретар спеціалізованої
вченої ради, к.т.н, доцент*



Вашкурак Ю. З.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми дослідження. Інтенсивне використання традиційних джерел енергії у світі призвело до появи ряду екологічних проблем, найбільш гострими з яких є збільшення викидів в атмосферу вуглекислого газу та зменшення товщини озонового шару.

Сьогодні, коли зростає вартість традиційних джерел енергії, а запаси їх вичерпуються, першочергово постає питання використання альтернативних або нетрадиційних джерел енергії, таких як сонячна, вітрова, геотермальна, гідроенергія, біоенергія, тощо.

Найбільш потужним джерелом енергії для людства є Сонце, висока активність якого зберігатиметься ще щонайменше 3-4 мільярди років. Кількість сонячної енергії, що потрапляє на Землю, майже в 15 000 разів перевищує потреби населення нашої планети, проте лише незначна її частина використовується на господарські потреби. Найпростішим та ефективним способом використання енергії Сонця, є перетворення її в теплову енергію, для чого використовують сонячні колектори.

На даний час розроблено та використовується значна кількість сонячних колекторів різних конструкцій, що відрізняє їх за техніко-економічними показниками. Переважна більшість геліоколекторів виготовляється у формі плоских конструкцій, площа поверхні яких є визначальним фактором в оцінці кількості як падаючої на неї сонячної енергії так і ефективності перетворення її в теплову енергію. Істотним недоліком всіх плоских колекторів є нестабільність ефективності їх роботи впродовж світлового дня, висока вартість і трудомісткість виготовлення. Крім цього, великорозмірна плоска поверхня прямокутної форми сонячних колекторів призводить до труднощів архітектурної та технологічної прив'язки необхідної кількості такого класу теплоприймачів безпосередньо на спорудах. При цьому створюється додаткове масове навантаження на конструкції споруд, на яких розміщуються сонячні колектори.

Виходячи з цього, широкі перспективи мають розроблення таких інженерно-технологічних рішень, які забезпечують можливість поєднання конструктивних і архітектурних функцій окремих елементів будівель та споруд з одночасним поглинанням ними сонячної енергії і перетворення її в теплову енергію при зниженні матеріальних і трудових затрат.

Із конструктивних елементів будівель особливої уваги на функцію теплопоглинача заслуговують поверхні покрівель з гофрованих металевих листів, що відкриває можливості більш ефективного вловлювання сонячного випромінювання в ранішні та вечірні години. У зв'язку з цим актуальним є розроблення геліопокрівлі, що поєднує функції сонячного колектора та металевої гофрованої частини скатного даху. Така система може бути застосована як в новобудовах, так і на існуючих покрівлях, та інтегруватися в традиційні комбіновані системи сонячного теплопостачання (ССТ).

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота є складовою частиною науково-дослідних робіт, які виконуються у

відповідності з основними напрямками наукової діяльності кафедри «Теплоенергетика, теплові та атомні електричні станції» Національного університету «Львівська політехніка», відповідає Закону України від 1 липня 1994 року №74/94-ВР «Про енергозбереження» і є складовою частиною господарських договорів № 0110U007105, № 0115U004698.

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є обґрунтування та розроблення комбінованої системи теплопостачання з геліопокрівлею, створення методу її розрахунку та підвищення ефективності.

Для досягнення поставленої мети потрібно виконати такі завдання:

- проаналізувати переваги та недоліки існуючих ССТ та конструкцій сонячних колекторів, можливість поєднання покрівлі будинку та сонячного колектора;
- розробити конструкції геліопокрівлі з профільно-гофрованим металевим теплопоглиначем та фізичну модель її роботи у ССТ і на її основі удосконалити математичну модель вловлювання сонячної енергії геліопокрівлею для визначення термоакумуляційних властивостей геліосистеми;
- виконати експериментальні дослідження роботи запропонованих конструкцій геліопокрівлі в ССТ з метою визначення їх характеристик;
- на основі проведених теоретичних і експериментальних досліджень отримати графічні та аналітичні залежності ефективності геліопокрівлі від визначальних факторів;
- розробити методику інженерного розрахунку параметрів ССТ з геліопокрівлею та варіанти її практичного використання;
- обґрунтувати економічну доцільність використання комбінованих ССТ з геліопокрівлею.

Об'єкт досліджень – енерготехнологічний процес отримання сонячної енергії ССТ з геліопокрівлею.

Предмет досліджень – вплив режимних параметрів та конструктивних особливостей енерготехнологічних процесів на ефективність роботи системи теплопостачання з геліопокрівлею.

Методи досліджень. Виконання поставлених завдань здійснювалося сучасними методами фізичного та математичного моделювання. Застосовувались експериментальні та натурні дослідження із подальшим порівнянням отриманих результатів. Достовірність експериментальних досліджень забезпечувалась застосуванням методів планування багатофакторного експерименту з врахуванням ефекту взаємодії факторів та статистичного оброблення їх даних.

Наукова новизна одержаних результатів:

- за результатами моделювання роботи та експериментальними дослідженнями ССТ з геліопокрівлею отримала подальший розвиток теорія щодо розроблення ефективних способів перетворення сонячної енергії в теплову за рахунок теплопоглиначів, які є конструктивними елементами будівель;

- встановлено взаємозв'язок температури нагрівання теплоносія в процесі опромінення теплосприймальної металеві поверхні геліопокрівлі за зміни інтенсивності теплового потоку та різної швидкості повітряного потоку, що дає змогу визначити середню теплову потужність ССТ з геліопокрівлею впродовж

періоду сонячного опромінення;

- вперше отримано графічні та аналітичні залежності оцінки ефективності комбінованої з геліопокрівлею ССТ від кутів падіння та інтенсивності теплового потоку, швидкості та напрямку вітру для інженерного розрахунку термоакумуляційних властивостей геліосистеми;

- теоретично та експериментально обґрунтовано можливість застосування геліопокрівлі з профільно-гофрованим теплопоглиначем в ССТ, що зменшує капітальні затрат на такі системи.

Практичне значення одержаних результатів.

На основі узагальнення експериментальних даних та теоретичних залежностей підтверджено можливість та ефективність застосування геліопокрівлі, суміщеної із гофрованим покриттям будівель, що забезпечує зниження вартості отримуваної теплової енергії в ССТ. Такі системи можуть бути використані для вирішення задач впровадження альтернативних джерел енергії як додаткові ефективні джерела тепла при проектуванні дахів як новобудов, так і реконструкції існуючих. Розроблено варіанти конструкцій геліопокрівлі та комбіновану систему тепlopостачання, які захищено патентом України на винахід (№ 111910) та 3 патентами України на корисну модель (№ 84945, № 92010, № 92009).

Результати дисертаційної роботи впроваджено у виробничому цеху НВ ТзОВ «Кокер» у системі комбінованого тепlopостачання в технології виробництва керамічних виробів та у навчальному процесі під час викладання дисциплін: «Нетрадиційні та поновлювальні джерела енергії», «Системи тепlopостачання та оптимізація їх режимів», «Джерела та системи генерації енергії» (для підготовки бакалаврів спеціальності 144 "Теплоенергетика", для магістрів за спеціальністю 144 «Теплоенергетика», а також бакалаврів спеціальності 143 «Атомна енергетика»), та при виконанні кваліфікаційних робіт бакалаврів та магістрів.

Особистий внесок здобувача.

Наукові результати, викладені в дисертації, отримані особисто здобувачем на основі отриманих даних експериментальних досліджень, їх аналізу та математичній обробці. Особистий внесок здобувача полягає у: розробленні конструкцій геліопокрівлі; проведенні теоретичних та експериментальних досліджень роботи геліопокрівлі у ССТ; визначенні впливу кутів падіння та інтенсивності теплового потоку, а також швидкості та напрямку повітряного потоку на ефективність геліопокрівлі та обробленні отриманих результатів; проведенні розрахунків техніко-економічного обґрунтування використання геліопокрівлі в системах тепlopостачання; узагальненні отриманих результатів і формулюванні висновків.

Апробація результатів дисертації.

Основні результати роботи доповідались і обговорювались на конференціях: VI Міжнародна конференція молодих вчених GAC-2013 "Геодезія, архітектура та будівництво" (Львів, 2013 р.); Международная научно-практическая интернет-конференция "Энергосберегающие технологии теплогазоснабжения, строительства, и муниципальной инфраструктуры" (Харьков, 2013 г.); III міжнародний конгрес "Захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування" (Львів, 2014 р.); II Международная научно-практическая

интернет-конференция «Энергетика, экология, компьютерные технологии в строительстве» (Днепропетровск, 2014 г.); Наукова конференція молодих вчених, аспірантів і студентів (Київ, 2014 р.); Міжнародна науково-практична виставка-конференція молодих учених та студентів «Інновації у будівництві» (Луцьк, 2014 р.); Міжнародна науково-технічна конференція «Інноваційні технології в будівництві» (Вінниця, 2014 р.); I Международная Крымская научно-практическая конференция «Энерго-ресурсосбережение и экологическая безопасность» (Симферополь, 2014 г.); Всеукраїнська конференція молодих учених і студентів «Проблеми сучасного будівництва» (Полтава, 2014 р.); Міжнародна науково-технічна конференція «Актуальні проблеми систем теплогазопостачання і вентиляції, водопостачання і водовідведення» (Рівне, 2015 р.); XV Міжнародна науково-практична конференція «Current issues of civil and environmental engineering and architecture» (Rzeszów, 2015); Міжнародна науково-технічна конференція «ЕкоКомфорт» (Львів, 2016); Міжнародна науково-практична конференція «Енергоінтеграція-2016» (Київ, 2016).

Публікації.

За матеріалами дисертаційної роботи опубліковано 26 наукових робіт, зокрема 12 статей у наукових фахових виданнях України (3 одноосібні), 3 статті у виданнях, які включені до міжнародних наукометричних баз даних (Scopus, Index Copernicus та ін.), 4 у наукових періодичних виданнях інших держав, 7 публікацій у матеріалах вітчизняних та міжнародних конференцій. Отримано патент України на винахід та 3 патенти України на корисну модель.

Структура та обсяг дисертації.

Дисертація складається із вступу, чотирьох розділів основної частини, загальних висновків, списку використаних літературних джерел з 146 найменувань та трьох додатків. Текст наведений на 200 сторінках комп'ютерного набору і містить 63 рисунки, 18 таблиць.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** наведено обґрунтування актуальності даної роботи, сформульовано мету та задачі досліджень, викладено наукову новизну та практичну цінність отриманих результатів, особистий внесок автора роботи, відомості про публікації та апробацію результатів дисертаційної роботи.

У **першому розділі** виконано аналіз потенціалу сонячної енергетики та існуючих систем сонячного теплопостачання. Проаналізовано переваги та недоліки різних конструкцій сонячних колекторів, методи їх досліджень. Подано аналіз основних напрямків підвищення ефективності сонячних колекторів та систем сонячного теплопостачання в цілому.

Найпоширенішими сонячними колекторами є плоскі геліоколектори, недоліком яких є їх висока вартість і залежність кількості тепла, що виробляється, від періоду доби (їх енергетична ефективність в ранішні та вечірні години знижується на 60%), а також додаткове масове навантаження на конструкції споруд. Перспективним шляхом підвищення ефективності геліосистем є використання геліопокрівлі, як варіанту сонячного колектора, в якому роль теплопоглинача виконує профільно гофроване металеве покриття даху будівлі.

На основі аналітичного вивчення літературних джерел сформульовано основні завдання і напрямки досліджень: удосконалення та дослідження сонячних колекторів, суміщених із покрівлею будівлі.

У **другому розділі** розроблено математичну модель роботи геліюпокрівлі з гофрованим теплопоглиначем у системі сонячного теплопостачання. Виконано теоретичні дослідження процесу тепловіддачі від геліюпокрівлі з прозорим покриттям та без нього при різній швидкості та напрямку повітряного потоку.

Для оцінки ефективності геліюпокрівлі було складено енергетичний баланс ССТ із геліюпокрівлею (рис.1) та проведено аналітичні дослідження, метою яких є визначення термоакумуляційних властивостей геліюсистеми.

Оскільки сонячна енергія поглинається покрівельним матеріалом будівлі, кількість тепла, яку вона може поглинути, першою чергою залежить від інтенсивності сонячного випромінювання, що надходить на поверхню цього матеріалу ($Q_{\text{сон}}$). Від покрівельного матеріалу будівлі теплота втрачається конвекцією ($Q_{\text{ГП}}^{\text{конв}}$) та випромінювання ($Q_{\text{ГП}}^{\text{рад}}$) в навколишнє середовище. Решта енергії від покрівлі через теплопоглинач передається теплоносію в трубках контуру циркуляції геліюпокрівлі ($Q_{\text{Т}}$). Частина поглинутої теплоти втрачається шаром теплоізоляції через нижню частину геліюпокрівлі ($Q_{\text{тепл}}$), стінками баку-акумулятора ($Q_{\text{бак}}$) та трубками для теплоносія від геліюпокрівлі до баку-акумулятора ($Q_{\text{тр}}$), що загалом зумовлено теплопровідністю використаних матеріалів. Завдяки різниці температур та, відповідно, різниці густин теплоносія в зоні вхідного і вихідного патрубків створюється циркуляція теплоносія. Решта енергії акумулюється як корисна енергія ($Q_{\text{ак}}$) в баку-акумуляторі гарячої води.

В модельованій геліюпокрівлі прийнято використання трубок для теплоносія з внутрішнім діаметром 20 мм, який загалом передбачений в промислових колекторах різних типів. Робоча площа геліюпокрівлі становила $0,16 \text{ м}^2$. Об'єм баку-акумулятора прийнято із розрахунку 75 л води на 1 м^2 площі колектора аналогічно з відомими ССТ. З врахуванням геометричних параметрів гофрованого покрівельного листа розглянуто надходження теплового потоку як на горизонтальні площини, так і суміжні з ними під кутом 30° бокові грані. Початкова температура теплоносія становила 14°C , температура навколишнього середовища – 20°C .

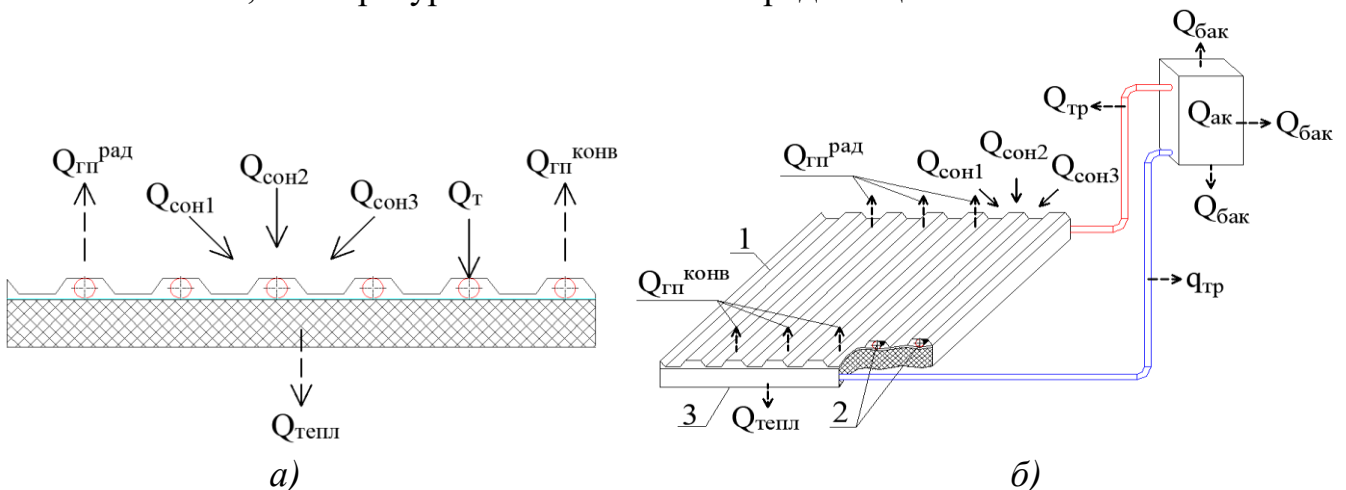


Рис. 1. Схема теплових потоків геліюпокрівлі (а) та ССТ з геліюпокрівлею (б):
1 – покрівельний матеріал будівлі; 2 – трубки контуру циркуляції; 3 – теплоізоляція

Для системи теплопостачання з геліюпокрівлею система балансових рівнянь матиме вигляд:

$$\left\{ \begin{array}{l} Q_{\text{сон}} = h \cdot (F_1 I_{\text{в1}} + F_2 I_{\text{в2}} + F_3 I_{\text{в3}}) \\ Q_{\text{ГП}}^{\text{конв}} = \alpha_{\text{ГП}} \cdot F_{\text{ГП}} \cdot (t_{\text{ГП}} - t_3) \\ Q_{\text{ГП}}^{\text{рад}} = \varepsilon_{\text{ГП}}^{\text{тп}} \cdot c_0 \cdot F_{\text{ГП}} \cdot \left[\left(\frac{T_{\text{ГП}}}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{\text{н}}}{100} \right)^4 \right] \\ Q_{\text{т}} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{\text{ГП}}} + \frac{\delta_{\text{ГП}}}{\lambda_{\text{ГП}}} + R_{\text{ЛК}} + \frac{1}{\alpha_{\text{в1}}}} \cdot l \cdot (t_{\text{т}} - t_3) \\ Q_{\text{тепл}} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{\text{з1}}} + \frac{\delta_{\text{із}}}{\lambda_{\text{із}}} + \frac{1}{\alpha_{\text{в}}}} \cdot F_b \cdot (t_{\text{ГП}} - t_{\text{т}}) \\ Q_{\text{тр}} = l \cdot \frac{(t_{\text{т}} - t_3)}{R_{\text{к}}} \\ Q_{\text{бак}} = K_{\text{бак}} \cdot F_{\text{бак}} \cdot (t_{\text{бак}} - t_3) \\ Q_{\text{ак}} = \frac{m \cdot c \cdot (t_{\text{бак}} - t_{\text{п}})}{\tau} \end{array} \right. \quad (1)$$

де h – коефіцієнт поглинання сонячної енергії покрівельним матеріалом будівлі; F_i – площа поглинання відповідної грані гофрованого покрівельного матеріалу будівлі, м^2 ; $I_{\text{в1}}$ – інтенсивність сонячного випромінювання, яке надходить на відповідні грані гофрованого покрівельного матеріалу даху будівлі, $\text{Вт}/\text{м}^2$; $F_{\text{ГП}}$ – площа поглинача сонячної енергії, м^2 ; $t_{\text{ГП}}$ – температура теплопоглинача, $^{\circ}\text{C}$; $t_{\text{н.с}}$ – температура навколишнього середовища, $^{\circ}\text{C}$; $\varepsilon_{\text{ГП}}^{\text{тп}}$ – приведений ступінь чорноти покрівельного матеріалу будівлі; c_0 – випромінювальна здатність абсолютно чорного тіла; $T_{\text{н}}$ – температура небозводу, K ; $\alpha_{\text{ГП}}$, $\alpha_{\text{в1}}$ – відповідно, коефіцієнти

тепловіддачі від зовнішньої поверхні геліюпокрівлі та від теплопоглинача до внутрішньої поверхні трубок контуру циркуляції теплоносія, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{K})$; $\lambda_{\text{ГП}}$ – коефіцієнт теплопровідності теплопоглинача, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{K})$; l – довжина трубопроводів; $\delta_{\text{ГП}}$ – товщина теплопоглинача, м ; $R_{\text{ЛК}}$ – лінійний термічний опір теплопередачі трубок контуру циркуляції, $\text{м} \cdot \text{K}/\text{Вт}$; $\lambda_{\text{із}}$ – коефіцієнт теплопровідності теплоізоляції, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{K})$; $\delta_{\text{із}}$ – товщина теплоізоляції, м ; $\alpha_{\text{в}}$ – коефіцієнт тепловіддачі внутрішньої поверхні геліюпокрівлі, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{K})$; F_b – площа поверхні теплоізоляції, м^2 ; $R_{\text{к}}$ – лінійний термічний опір теплопередачі трубопроводів від геліюпокрівлі до баку-акумулятора, $\text{м} \cdot \text{K}/\text{Вт}$; $K_{\text{бак}}$ – коефіцієнт теплопередачі теплоізоляції баку-акумулятора, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{K})$; $F_{\text{бак}}$ – площа теплоізоляції баку-акумулятора, м^2 ; $t_{\text{бак}}$ – температура теплоносія в баці-акумуляторі, $^{\circ}\text{C}$; c – питома теплоємність теплоносія, $\text{Дж}/(\text{кг} \cdot \text{K})$; m – маса теплоносія, кг ; $t_{\text{п}}$ і $t_{\text{бак}}$ – відповідно, початкова та кінцева температури теплоносія в баці-акумуляторі, $^{\circ}\text{C}$.

Розв'язуванням системи балансових рівнянь отримано розрахункові значення температури теплоносія в процесі опромінення теплосприймальної металевої поверхні геліюпокрівлі при зміні інтенсивності теплового потоку впродовж дня (для липня) при різній швидкості повітряного потоку (рис.2). Встановлено, що при середній швидкості повітряного потоку 1-2 м/с температура теплоносія в баку-акумуляторі досягає $50-55^{\circ}\text{C}$, а при збільшенні швидкості до 4-6 м/с становить $37-42^{\circ}\text{C}$. При цьому середнє значення ККД ССТ з геліюпокрівлею відповідно досягає рівня 61-51% та 37-27% з показниками закумуляованої питомої теплоти від 10755 до 9313 $\text{кДж}/\text{м}^2$ та від 7367 до 5712 $\text{кДж}/\text{м}^2$.

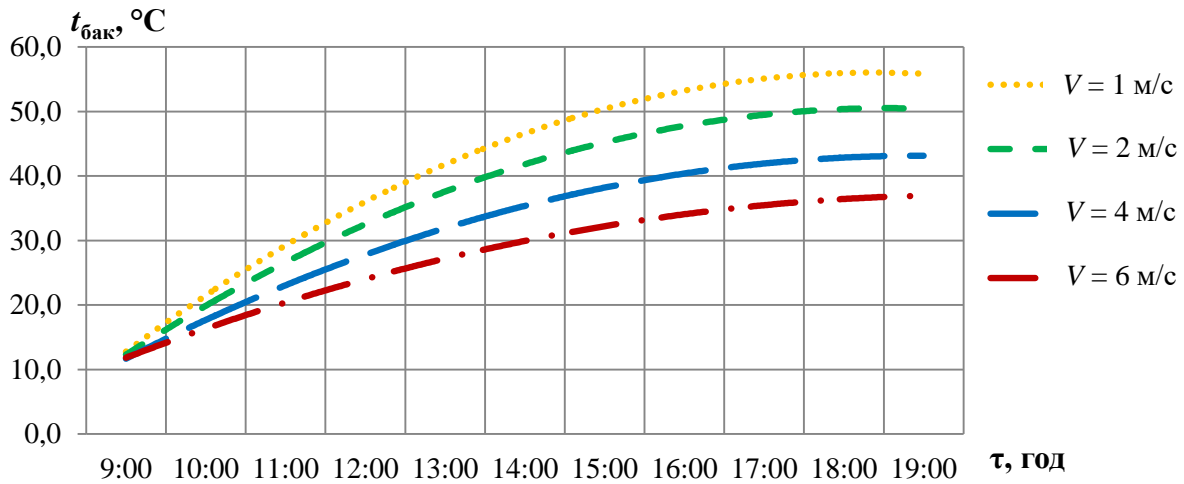


Рис. 2. Розрахункова температура теплоносія в баці-акумуляторі $t_{\text{бак}}$ за зміни інтенсивності теплового потоку впродовж дня та швидкості вітрового потоку

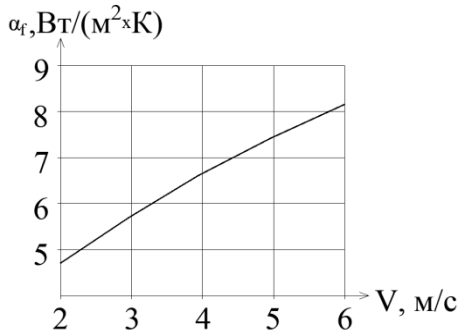


Рис. 3. Залежність коефіцієнта тепловіддачі α_f від швидкості вітрового потоку V на геліюпокрівлю

Вагомий вплив конвективних тепловтрат у тепловому балансі ССТ з геліюпокрівлею підтверджено розрахунком коефіцієнту тепловіддачі (рис.3). Встановлено, що дія повітряного потоку навіть при швидкості 2 м/с збільшує α_f від 1,76 до 3,62 Вт/(м²·К), який зростає до 8,16 Вт/(м²·К) пропорційно збільшенню швидкості обдуву до 6 м/с. Це є підставою необхідності проведення системних експериментальних досліджень щодо впливу вітру на енергетичну ефективність геліюпокрівлі в ССТ.

У **третьому розділі** подано опис експериментальних установок для проведення лабораторних та натурних експериментальних досліджень геліюпокрівлі з прозорим покриттям та без нього, з верхнім та нижнім розташуванням трубок для теплоносія у системах сонячного теплопостачання. Проведено планування повного факторного експерименту, описано процес проведення замірів та вимірювальну апаратуру, математичне оброблення отриманих результатів та їх представлення у вигляді графіків, номограм та аналітичних залежностей. Дослідження спрямовані на виявлення впливу визначальних факторів на ефективність геліюпокрівлі різних конструкцій.

Основними факторами, які впливають на ефективність геліюпокрівлі є: x_1 – кут між поверхнею теплопоглинача та проекцією напрямку теплового потоку у горизонтальній площині геліюпокрівлі, α ,⁰; x_2 – кут між поверхнею теплопоглинача та проекцією напрямку теплового потоку у вертикальній площині геліюпокрівлі, β ,⁰; x_3 – інтенсивність потоку теплової енергії, що випромінює джерело, I_B , Вт/м²; x_4 , x_5 – відповідно швидкість (V , м/с) та напрям (ψ , град) вітру.

На першому етапі досліджень змінними були прийняті: x_1 ($\alpha = [30; 90]^\circ$); x_2 ($\beta = [30; 90]^\circ$); x_3 ($I_B = [300; 900]$ Вт/м²) при відсутності впливу факторів x_4 , x_5 . В другій

серії відповідно змінювались: $x_3 (I_b = [300; 900] \text{ Вт/м}^2)$; $x_4 (V = [2; 6] \text{ м/с})$; $x_5 (\psi = [0; 90]^\circ)$, при сталих значеннях $x_1 (\alpha = 90^\circ)$ та $x_2 (\beta = 90^\circ)$.

Для проведення експериментальних досліджень було складено матрицю планування трифакторного експерименту із врахуванням взаємодії факторів. Функцією відгуку служить коефіцієнт ефективності $K_{\text{еф}}$ геліопокрівлі, який визначається відношенням кількості отриманої теплоти при певних рівнях впливу визначальних факторів до її максимальної кількості при найбільш оптимальному впливі цих факторів.

Для встановлення характеру впливу кутів падіння та інтенсивності теплового потоку на ефективність геліопокрівлі у гравітаційній ССТ при розташуванні трубок контуру циркуляції під теплопоглиначем було розроблено та змонтовано експериментальну установку, схема та фото якої зображено на рис. 4.

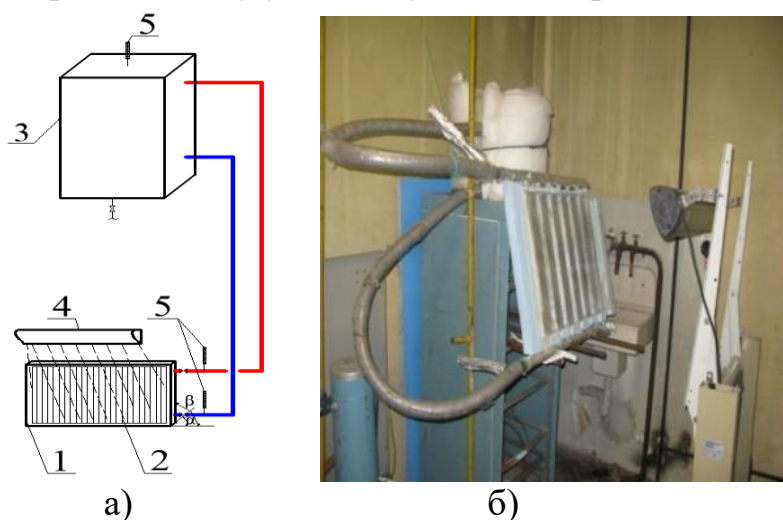


Рис. 4. Схема (а) та фото (б) експериментальної установки з геліопокрівлею при нижньому розташуванні трубок контуру циркуляції:
1 – геліопокрівля;
2 – покрівельний матеріал будівлі;
3 – бак-акумулятор;
4 – джерело випромінювання;
5 – термометри

За результатами експериментальних досліджень геліопокрівлі з прозорим покриттям та без нього побудовані відповідні номограми залежності коефіцієнта ефективності геліопокрівлі у гравітаційній системі тепlopостачання $K_{\text{еф}}$ від кутів падіння теплового потоку α і β та інтенсивності теплового потоку I_b (рис. 5).

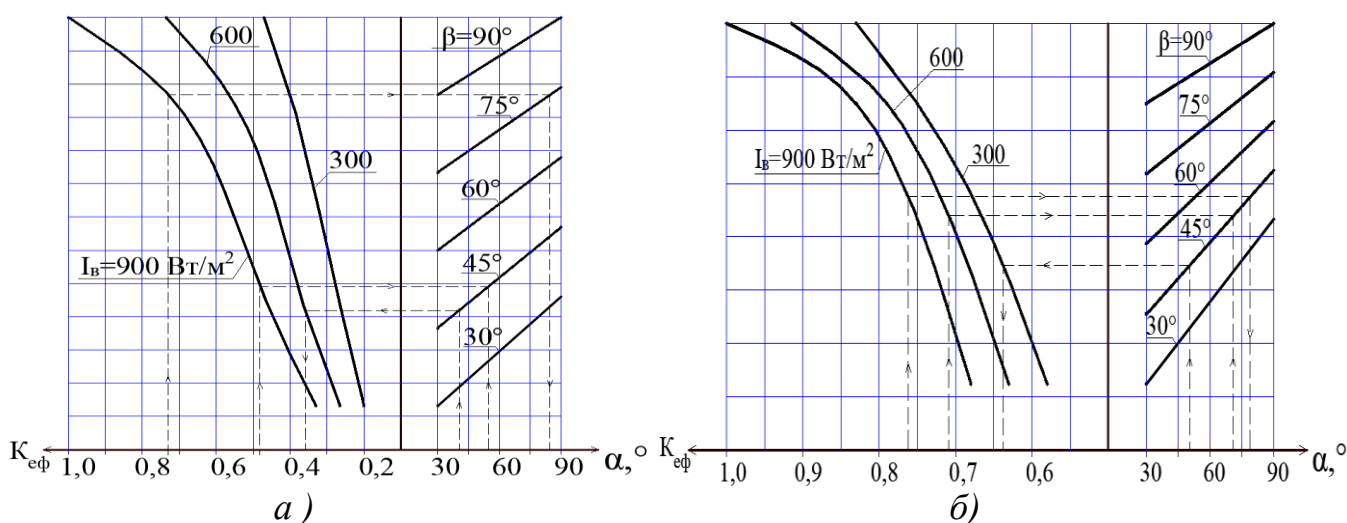


Рис. 5. Номограми залежності коефіцієнта ефективності $K_{\text{еф}}$ для геліопокрівлі з трубками контуру циркуляції під теплопоглиначем без прозорого (а) та з прозорим покриттям (б) у гравітаційній ССТ від кутів падіння теплового потоку α і β та його інтенсивності I_b

Порівняльний аналіз отриманих результатів свідчить, що в гравітаційній ССТ за зміни кутів α і β від 90° до 30° ефективність геліопокрівлі без прозорого покриття зменшується на 65%. Ефективність геліопокрівлі з прозорим покриттям при цьому знижується на 40%, що свідчить про більш ефективну її роботу в ранішні та вечірні години. На основі побудованих номограми (рис. 5) запропоновано вирішення обернених задач, які відображені відповідними «ключами». Отримані результати апроксимуються емпіричними залежностями (2) та (3), відповідно, при відсутності та наявності прозорого покриття.

$$K_{\text{эф}} = ((513 + 0,458 \cdot I_{\text{в}}) + (22 + 0,038 \cdot I_{\text{в}}) \cdot \beta + 12 \cdot \alpha + (-0,019 + 6,389 \cdot 10^{-5} \cdot I_{\text{в}}) \cdot \beta \cdot \alpha) \cdot 10^{-4} \quad (2)$$

$$K_{\text{эф}} = ((3625 + 3 \cdot I_{\text{в}}) + (37 - 0,022 \cdot I_{\text{в}}) \cdot \beta + (27 - 0,025 \cdot I_{\text{в}}) \cdot \alpha + (-0,233 + 5,556 \cdot 10^{-4} \cdot I_{\text{в}}) \cdot \beta \cdot \alpha) \cdot 10^{-4} \quad (3)$$

З метою підвищення ефективності геліопокрівлі розроблено її конструкцію з верхнім розташуванням трубок контуру циркуляції теплоносія. Схема та фото експериментальної установки зображена на рис. 6.

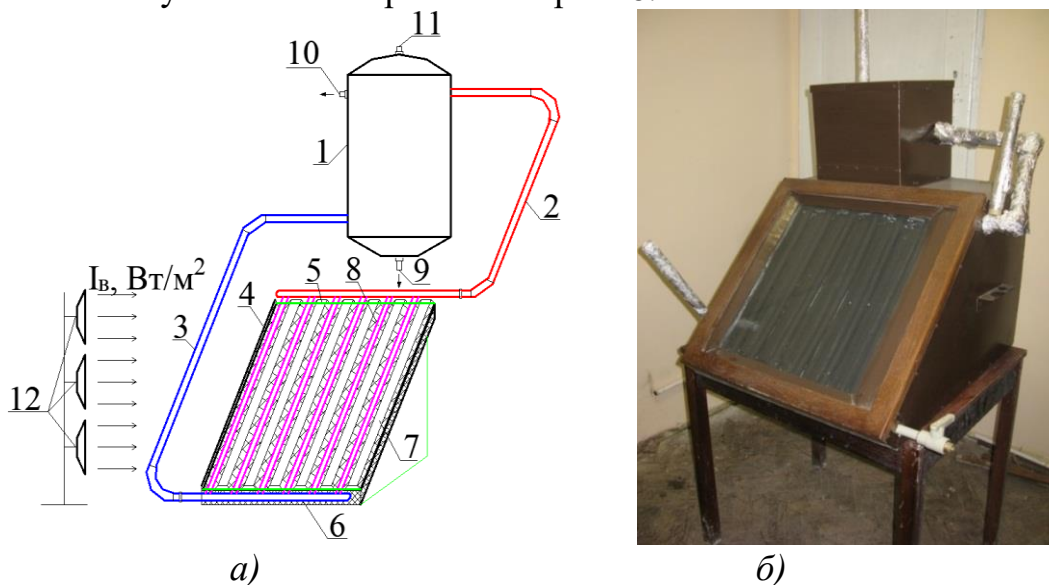


Рис. 6. Схема (а) та фото (б) експериментальної установки з геліопокрівлею при верхньому розташуванні трубок контуру циркуляції:

1 – бак-акумулятор; 2 – подаючий трубопровід; 3 – зворотній трубопровід; 4 – геліопокрівля; 5 – прозоре покриття; 6 – теплоізоляція; 7 – покрівельний матеріал; 8 – трубки контуру циркуляції; 9 – патрубок зливу теплоносія; 10 – патрубок відбору теплоносія; 11 – повітровипускний клапан; 12 – джерело випромінювання

Результати дослідження геліопокрівлі з верхнім розташуванням трубок теплоносія у гравітаційній системі тепlopостачання (рис. 7) при малих кутах падіння випромінювання (ранішні та вечірні години) показали вищу її ефективність порівняно з варіантом нижнього розташування циркуляційного контуру. Коефіцієнт ефективності такої геліопокрівлі без прозорого покриття, при зміні кутів падіння теплового потоку від 90° до 30° зменшується на 50%, а ефективність геліопокрівлі з прозорим покриттям – на 30%.

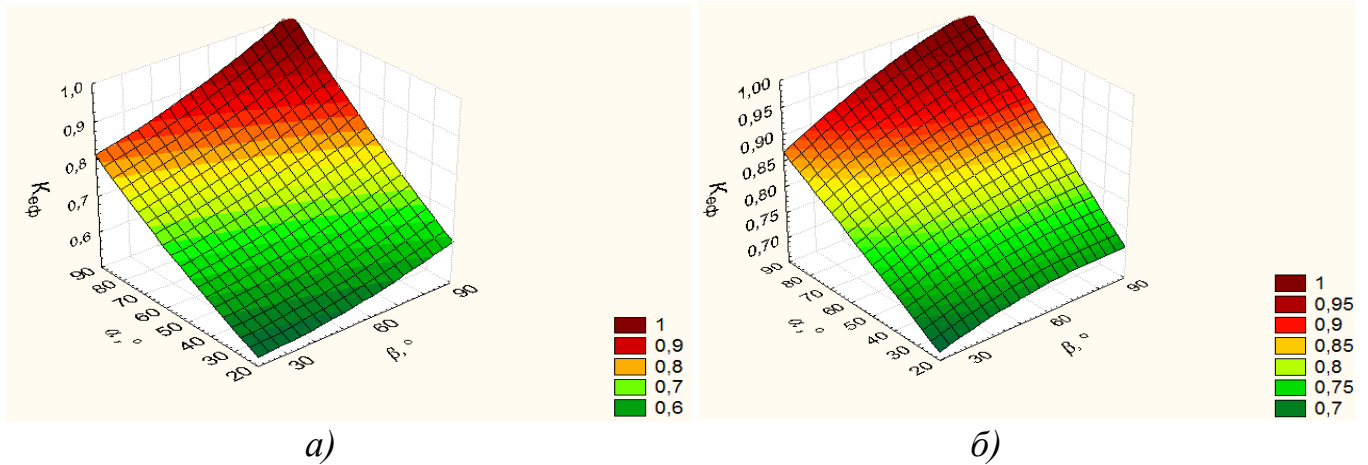


Рис. 7. Ефективність геліопокрівлі з трубками контуру циркуляції, розташованими над теплопоглиначем, при інтенсивності теплового потоку $I_B = 900 \text{ Вт/м}^2$: а) з прозорим покриттям; б) без прозорого покриття

За результатами лабораторних досліджень ССТ з різними конструкціями геліопокрівлі розраховано ККД їх роботи (рис. 8) та встановлено, що ефективність

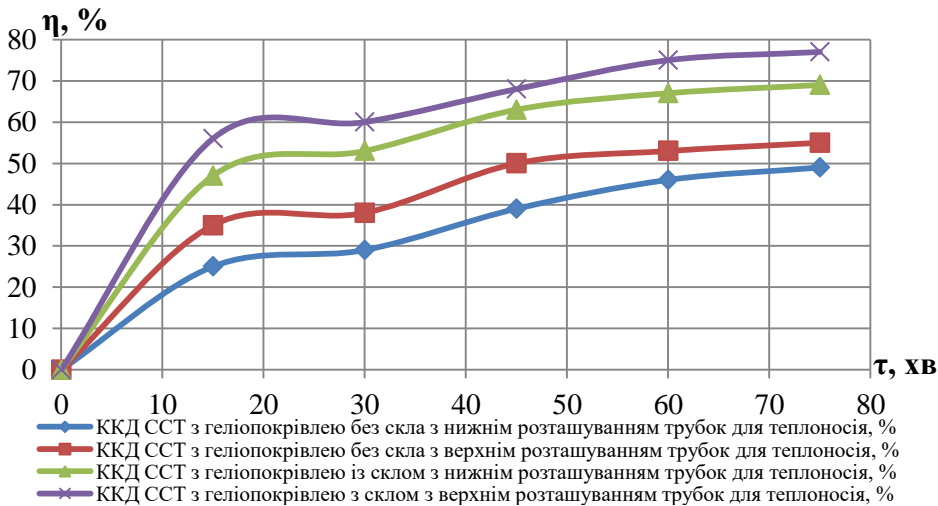


Рис. 8. Зміна ККД ССТ з різними конструкціями геліопокрівлі впродовж експерименту при інтенсивності теплового потоку $I_B = 600 \text{ Вт/м}^2$ та кутах падіння теплового потоку $\alpha = 90^\circ$ та $\beta = 90^\circ$

геліопокрівлі з прозорим покриттям є в середньому на 20% вищою, ніж ефективність геліопокрівлі без нього. ККД ССТ з геліопокрівлею з верхнім розташуванням трубок для теплоносія є на 10% вищим, ніж для варіанту їх нижнього розташування.

Найвищий ККД ССТ встановлено у геліопокрівлі з верхнім розташуванням трубок контуру циркуляції теплоносія з прозорим покриттям, який в середньому рівний 67%. Тому подальші дослідження та розрахунки проводилися для геліопокрівлі з верхнім розташуванням трубок циркуляції.

Аналогічні дослідження проведені і для геліопокрівлі у протічній ССТ (рис.9). За результатами експериментальних досліджень побудовано номограми та отримано емпіричну залежність (4) коефіцієнта ефективності геліопокрівлі $K_{\text{еф}}$ у протічній ССТ від кутів падіння теплового потоку α , β та інтенсивності теплового потоку I_B :

$$K_{\text{еф}} = ((3288 + 2 \cdot I_B) + (5 - 0,003 \cdot I_B) \cdot \beta + (18 - 0,003 \cdot I_B) \cdot \alpha + (0,049 + 0,0004 \cdot I_B) \cdot \beta \cdot \alpha) \cdot 10^{-4} \quad (4)$$

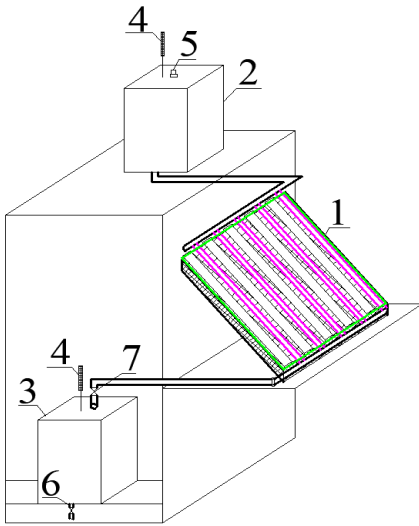


Рис. 9. Схема експериментальної установки протічної системи теплопостачання з геліопокрівлею при верхньому розташуванні трубок для теплоносія:

- 1 – геліопокрівля;
- 2 – ємність з холодною водою;
- 3 – бак-акумулятор;
- 4 – термометри;
- 5 – патрубок подачі холодної води;
- 6 – патрубок відбору теплоносія;
- 7 – запірний вентиль.

Встановлено, що для протічної ССТ при зміні кутів α та β від 90° до 30° ефективність її роботи зменшується на 40%, а середнє значення ККД становить 63%.

На II етапі досліджень розглянуто вплив швидкості та напрямку вітру, а також інтенсивності теплового потоку на ефективність геліопокрівлі як у гравітаційній, так і протічній ССТ.

За результатами досліджень і проведених розрахунків для гравітаційної ССТ побудовано відповідні номограми, апроксимацією яких отримано емпіричні залежності:

- без прозорого покриття:

$$K_{\text{эф}} = \left((6075 + 6 \cdot I_{\text{в}}) + (10 - 0,028 \cdot I_{\text{в}}) \cdot \psi + (-13840 - 0,458 \cdot I_{\text{в}}) \cdot V + (-4 + 3,333 \cdot 10^{-3} \cdot I_{\text{в}}) \cdot \psi \cdot V \right) \cdot 10^{-4} \quad (5)$$

- з прозорим покриттям:

$$K_{\text{эф}} = \left((690 + 4 \cdot I_{\text{в}}) + (-10 + 3,333 \cdot 10^{-3} \cdot I_{\text{в}}) \cdot \psi - 40 \cdot V + (-3,333 \cdot 10^{-3} \cdot I_{\text{в}}) \cdot \psi \cdot V \right) \cdot 10^{-4} \quad (6)$$

Встановлено, що збільшення швидкості вітрового потоку від 2 до 6 м/с призводить до зменшення ефективності ССТ з геліопокрівлею без прозорого покриття на 45%, а з покриттям – на 35%.

У результаті опрацювання експериментальних даних отримано рівняння регресії (8) для ССТ з геліопокрівлею з прозорим покриттям:

$$K_{\text{эф}} = 0,716 - 0,099V - 0,074\psi + 0,124I_{\text{в}} - 0,019V\psi \quad (7)$$

Встановлено, що найбільш вагомий вплив має інтенсивність падаючого теплового потоку та швидкість вітру, а вплив напрямку останнього є менш значимий.

Для протічної ССТ номограма апроксимована до виду:

$$K_{\text{эф}} = \left((605 + 5 \cdot I_{\text{в}}) - 0,0033 \cdot I_{\text{в}} \cdot \psi + (-200 - 0,167 \cdot I_{\text{в}}) \cdot V + (-0,832 + 9,204 \cdot 10^{-4} \cdot I_{\text{в}}) \cdot \psi \cdot V \right) \cdot 10^{-4} \quad (8)$$

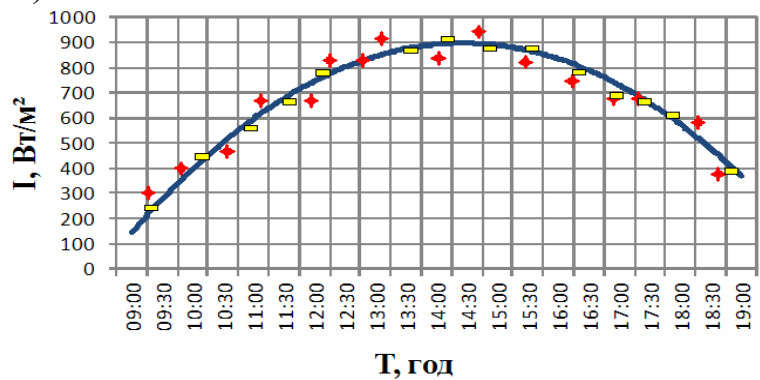
Достовірність результатів експериментальних досліджень обґрунтовано перевіркою адекватності математичної моделі за відповідними критеріями Стюдента, Фішера та Кохрена при границі довірчого інтервалу 0,95.

Для підтвердження результатів лабораторних досліджень було проведено оцінку ефективності роботи розробленої геліопокрівлі з прозорим покриття при

верхньому розташуванні трубок циркуляції в натурних умовах у гравітаційній системі теплопостачання (рис.10 а).



а)



б)

Рис. 10. Фото експериментальної установки для натурних досліджень (а) та інтенсивність сонячної радіації у площині геліопокрівлі впродовж експерименту (б)

Натурні дослідження проводились 27 липня 2015 року. Кут нахилу геліопокрівлі до горизонту становив 45° . Середня температура зовнішнього повітря в тіні – 23°C , швидкість вітру впродовж дня – 1 м/с . Небо було безхмарним. Інтенсивність потоку повної сонячної радіації впродовж дня наведено на рис. 10 б.

Характер побудованих температурних кривих (рис. 11) підтверджує працездатність розробленої ССТ з геліопокрівлею в натурних умовах її

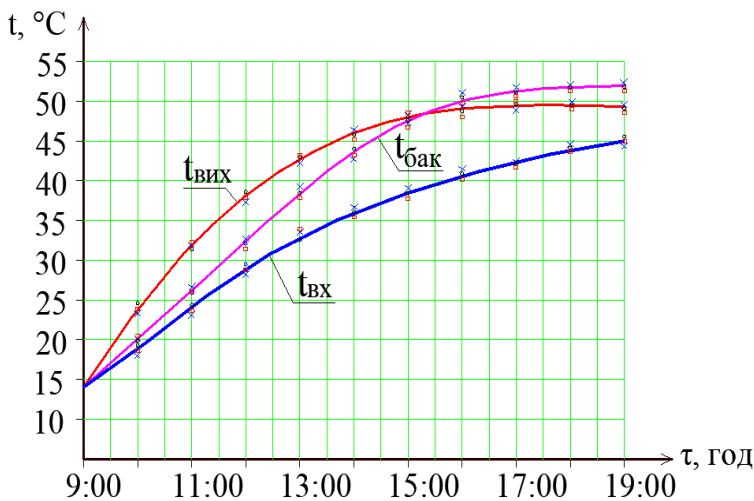


Рис. 11. Температура теплоносія, $^\circ\text{C}$, на вході у геліопокрівлю $t_{\text{вх}}$, на виході з геліопокрівлі $t_{\text{вих}}$ та в баку-акумуляторі $t_{\text{бак}}$ за час проведення експерименту τ

використання. Досягнення при цьому нагріву води в баку-акумуляторі до температури 52°C згідно проведених розрахунків забезпечує досягнення термоакумуляційної здатності розробленої ССТ на рівні 995 кДж/м^2 , що свідчить про достатню ефективність розробленої геліопокрівлі.

У четвертому розділі подано матеріали про практичне застосування результатів роботи, основні напрямки можливого застосування та техніко-економічне обґрунтування використання різних ССТ із геліопокрівлею.

Запропоновано схемні конструктивні рішення будови і використання геліопокрівлі для комбінованих ССТ. Подано опис конструкцій та принципів роботи геліопокрівлі при різних способах розташування трубок контуру циркуляції теплоносія для гравітаційної та механічної ССТ. Розроблені технічні рішення захищені патентом України на винахід та трьома патентами України на корисну модель.

Розроблено методику розрахунку параметрів ССТ з геліопокрівлею, що враховує значення коефіцієнтів ефективності різних конструкцій геліопокрівлі, які

визначаються за відповідними емпіричними залежностями, отриманими експериментально.

Питома теплова потужність геліопокрівлі q_r , Вт/м²:

$$q_r = E_r \cdot \eta_o \cdot (1 - a \cdot G + b \cdot G^2) \cdot K_{\text{еф}} \quad (9)$$

де E_r – інтенсивність сонячної енергії, яка поступає на 1 м² площі поверхні геліопокрівлі, Вт/м²; a і b – довідкові поправні коефіцієнти; $K_{\text{еф}}$ – коефіцієнт ефективності геліопокрівлі; η_o – оптичний ККД геліопокрівлі; G – розрахунковий параметр, який враховує середньомісячний коефіцієнт ясності атмосфери, температуру води на вході в геліопокрівлю та температуру зовнішнього повітря.

На основі вище наведеного методу розрахунку складено алгоритм та комп'ютерну програму інженерного розрахунку параметрів ССТ з геліопокрівлею. Результати розрахунків за допомогою комп'ютерної програми зображено у графічній формі на рис. 12.

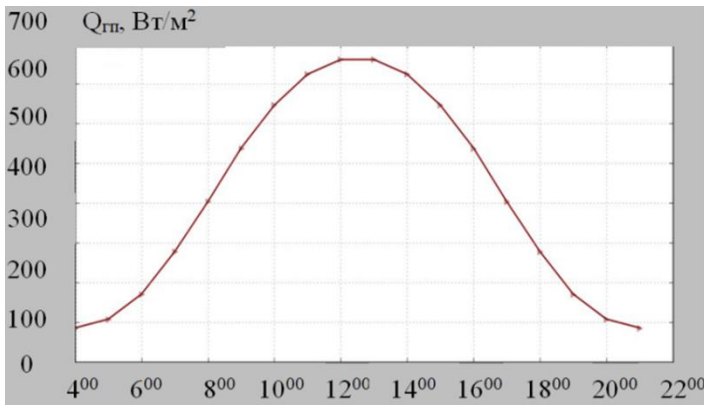


Рис. 12. Розрахована питома теплова потужність геліопокрівлі з прозорим покриттям впродовж дня

Розрахунок проведено для м. Львова для липня місяця. Встановлено, що питома теплова потужність геліопокрівлі з прозорим покриттям досягає 660 Вт/м². Розрахунковий ККД самої геліопокрівлі становить 72%.

Економічну оцінку доцільності застосування системи теплопостачання з геліопокрівлею здійснено за приведеними та питомими приведеними річними затратами і представлено у таблиці.

Техніко-економічні показники систем теплопостачання із використанням сонячних колекторів та геліопокрівлі

Показник	Сонячні колектори		Геліопокрівля
	Viessmann: Vitosol 100F	Atmosfera: SPK-F2	
Необхідна площа геліополя, м ²	15,07	16,11	20,07
Капітальні затрати, тис.грн/м²	7,88	5,94	3,10
Відрахування на амортизацію, капітальний ремонт і повне відновлення, тис.грн/(рік·м ²)	0,63	0,48	0,25
Затрати на поточний ремонт, тис.грн/(рік·м ²)	0,24	0,18	0,09
Затрати на заробітну плату обслуговуючого персоналу, тис.грн/(рік·м ²)	2,08	1,94	1,56
Інші затрати I, тис.грн/(рік·м ²)	0,88	0,78	0,57
Експлуатаційні затрати C, тис.грн/(рік·м²)	3,83	3,38	2,47
Приведені річні затрати II, тис.грн/(рік·м²)	5,01	4,27	2,94
Річна кількість теплоти з геліоустановки Q, Гдж/м ²	2,17	2,03	1,63
Питомі приведені річні затрати II_н, тис.грн/(рік·Гдж)	2,31	2,10	1,80
Термін окупності, років	11,3	9,1	5,9

Встановлено, що питомі приведені затрати системи сонячного теплопостачання з геліопокрівлею становлять 1,80 тис.грн/(ГДж·рік), що є в середньому на 18 % меншими, ніж затрати на систему теплопостачання з використанням сонячних колекторів. Термін окупності системи сонячного теплопостачання з геліопокрівлею становить 5,9 років.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. На основі аналізу літературних джерел і патентних досліджень встановлено переваги та недоліки існуючих ССТ та доведено економічну доцільність комбінованих систем теплопостачання, зокрема сонячного колектора, суміщеного зі скатною покрівлею будинку.

2. Розроблено конструкції геліопокрівлі, як складової ССТ, з використанням в ролі теплопоглинача профільно гофрованого металевого матеріалу покрівлі, що забезпечить зниження їх вартості та високу енергетичну ефективність.

3. Запропоновано удосконалену математичну модель вловлювання сонячної енергії з геліопокрівлею, що дало змогу визначити термоаккумуляційні властивості геліосистеми та отримати взаємозв'язок температури нагріву теплоносія в баці-аккумуляторі залежно від інтенсивності теплового потоку впродовж світлового дня та швидкості вітру. При цьому встановлено, що збільшення швидкості вітрового потоку до 6 м/с змінює коефіцієнт тепловіддачі від 1,76 до 8,1 Вт/(м²·К). Розрахована для липня денна термоаккумуляційна здатність геліопокрівлі при дії вітру зі швидкістю 1-6 м/с характеризується показниками питомої теплоти в межах від 10755 до 5712 кДж/м².

4. Встановлено вплив визначальних факторів на ефективність геліопокрівлі та експериментально отримано залежність зміни ефективності ССТ з використанням різних конструкцій геліопокрівлі від кутів падіння теплового потоку α , β та його інтенсивності. Встановлено, що ефективність геліопокрівлі при зміні кутів падіння теплового потоку α та β від 90° до 30° та інтенсивності теплового потоку від 900 Вт до 300 Вт зменшується в середньому на 40%, тоді як ефективність звичайного плоского сонячного колектора зменшується на 60%.

5. Встановлено, що в ССТ з геліопокрівлею розташування трубок контуру циркуляції теплоносія поверх гофрованого теплопоглинача забезпечує на 8-10% вищий ККД, ніж під ним, а влаштування прозорого покриття збільшує ККД ще на 12-20%.

6. За реалізації експерименту отримано залежності зміни ефективності ССТ від швидкості та напрямку повітряного потоку, на основі чого встановлено, що ефективність геліопокрівлі з прозорим покриттям при впливі на неї повітряного потоку знижується на 35%, а ефективність геліопокрівлі без прозорого покриття – на 45%. На ефективність геліопокрівлі при дії на неї повітряного потоку більший вплив має швидкість повітряного потоку, а його напрям впливає в меншій мірі. При вітровому впливі із збільшенням швидкості повітряного потоку до 6 м/с ККД ССТ з геліопокрівлею зменшується на 16-19%.

7. Розроблено методику і комп'ютерну програму інженерного розрахунку параметрів ССТ з геліопокрівлею, а також способи її ефективного використання для комбінованого теплопостачання.

8. Проведено техніко-економічне порівняння геліопокрівлі та сонячних колекторів у ССТ. Питомі приведені затрати системи сонячного теплопостачання з використанням геліопокрівлі становлять 1,80 тис.грн/(ГДж·рік), що є в середньому на 18% меншими, ніж затрати на систему теплопостачання з використанням плоских сонячних колекторів. Термін окупності системи теплопостачання з геліопокрівлею є майже відвічі меншим, ніж термін окупності геліосистеми з традиційними геліоколекторами. Результати проведених теоретичних та експериментальних досліджень та методику розрахунку параметрів ССТ з геліопокрівлею впроваджено в НВ ТзОВ «Кокер» у селі Кліцко Городоцького району Львівської обл., що дозволило на 25% зменшити енергозатрати в технології виготовлення керамічних виробів.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Mysak Y. Evaluation of energy efficiency of solar roofing using mathematical and experimental research / Y. Mysak, O. Pona, S. Shapoval, M. Kuznetsova, T. Kovalenko // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, №3/8(87), 2017, p. 26-32. *(Особистий внесок полягає у математичному обробленні результатів дослідження ефективності роботи геліопокрівлі).*

2. Shapoval S. Ecological and energy aspects of using the combined solar collectors for low-energy houses / S. Shapoval, P. Shapoval, V. Zhelykh, O. Pona, N. Spodyniuk, B. Gulai, O. Savchenko, K. Myroniuk // Chemistry and Chemical Technology // Vol 11, № 4, 2017, p. 503-508. *(Особистий внесок полягає у визначенні економічного ефекту застосування геліопокрівлі у ССТ).*

3. Пона О. М. Порівняння ефективності комбінованого сонячного колектора / О. М. Пона, Б. І. Гулай // «Східно-Європейський журнал новітніх технологій», №2/8 (74), 2015, с.53-57. *(Особистий внесок полягає у проведенні експериментальних досліджень різних конструкцій комбінованого сонячного колектора та обробці їх результатів).*

4. Voznyak O. Vplyv prúdenia vzduchu na energetickú účinnosť solárneho kolektora / O. Vožnyak, O. Pona, S. Shapoval, P. Kapalo // Plynár-vodár-kúrenár. – Košice, 2014. – № 3.– p. 14-15. *(Особистий внесок полягає у визначенні впливу швидкості та напрямку повітряного потоку на ефективність сонячного колектора).*

5. Voznyak O. Effectiveness of helioroof with the top location of pipes of circulation contour / O. Voznyak, O. Pona, S. Shapoval // Teoretická a experimentálna analýza sústav techniky prostredia v súvislosti s ich mikrobiologickým znečistením pri efektívnom využití obnoviteľných zdrojov. Nekonferenčný zborník vedeckých prác - VEGA 1/0748/11.– Košice, 2014. – p. 339-343. *(Особистий внесок полягає у проведенні експериментальних досліджень геліопокрівлі з верхнім розташуванням трубок для теплоносія та обробці їх результатів).*

6. Voznyak O. Efficiency of Solar roof with transparent cover for heating supply of buildings / O. Voznyak, O. Pona, S. Shapoval, M. Kasynets // Budownictwo o

zoptymalizowanym potencjale energetycznym. Construction of optimized energy potential. – Czestochowa, 2014. – 2(14), p. 117-124. *(Особистий внесок полягає у дослідженні ефективності геліопокрівлі у ССТ).*

7. Zhelykh V. Perspectives of using heliosystems and their research in solar heating system / V. Zhelykh, O. Pona, A. Eltman, S. Shapoval // XV International Scientific Conference: Current issues of civil and environmental engineering and architecture, Rzeszów – Lviv – Kosice, 9-10 September 2015.- p. 1-8. *(Особистий внесок полягає у обробленні результатів лабораторних досліджень геліосистеми).*

8. Пона О.М. Визначення енергетичних властивостей геліопокрівлі впродовж дня / О.М. Пона, Й.С. Мисак // Вісник інженерної академії України – Випуск 3: Київ, 2016. – с. 257-260. *(Особистий внесок полягає у моделюванні роботи геліопокрівлі в гравітаційній ССТ).*

9. Пона О.М. Ефективність використання сонячного колектора суміщеного з покрівлею будинку в системі сонячного теплопостачання / О.М. Пона, Й.С. Мисак, С.П. Шаповал, О.С. Дацько // Вісник Національного університету "Львівська політехніка" ["Теорія і практика будівництва"]. – Л. : В-во НУ «ЛП», 2016. – № 844. – с. 164-168. *(Особистий внесок полягає в отриманні та аналізі графічних залежностей ефективності використання геліопокрівлі в ССТ).*

10. Voznyak O. Method of determining the efficiency of heliocollector in system with forced circulation of coolant / O. Voznyak, O. Pona, A. Eltman, S. Shapoval, N. Spodyniuk // Науково-технічний збірник «Енергоефективність в будівництві та архітектурі». Випуск 7-К: КНУБА, 2015. – с. 10-16. *(Особистий внесок полягає в отриманні експериментальних даних при розрахунку термоаккумуляційних властивостей геліопокрівлі).*

11. Возняк О. Т. Combined solar collector / О. Т. Возняк, С. П. Шаповал, О.М. Пона, І.І. Венгрин // Вісник Національного університету "Львівська політехніка" ["Теорія і практика будівництва"]. – Л. : В-во НУ «ЛП», 2014. – № 781. – с. 212-215. *(Особистий внесок полягає у дослідженні способів підвищення ефективності ССТ).*

12. Пона О. М. Вплив прозорого покриття на ефективність геліопокрівлі / О.М. Пона // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві, науково-технічний збірник – Вінниця, №2(17), 2014. – с.165-168.

13. Пона О.М. Аналітичне моделювання впливу повітряного потоку на роботу геліоколектора з прозори покриттям / О.М. Пона // Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання: науково-технічний збірник.- Вип. 18.-К.:КНУБА, 2015.- с. 101-105.

14. Пона О.М. Натурні дослідження геліопокрівлі в гравітаційній системі теплопостачання / О.М. Пона // Вісник Національного університету "Львівська політехніка" ["Теорія і практика будівництва"]. – Л. : В-во НУ «ЛП», 2015. – № 823. – с. 265-269.

15. Пона О.М. Оцінка економічного ефекту від використання геліопокрівлі / О. М. Пона, О. Т. Возняк, С. П. Шаповал, М.Є. Касинець // Вісник національного університету водного господарства та природокористування, збірник наукових праць, вип. 1(69) – Рівне, 2015. – с. 282-287. *(Особистий внесок полягає в розрахунку показників економічної ефективності геліопокрівлі у ССТ).*

16. Пона О.М. Ефективність геліопокрівлі в гравітаційній системі теплопостачання / О.М. Пона, О.Т. Возняк // Строительство, материаловедение, машиностроение. Сборник научных трудов. Вып. 76. – ГВУЗ ПГАСА. Днепропетровск: ЧМП «Экономика» 2014. – с. 231-235. *(Особистий внесок полягає у проведенні експериментальних досліджень геліопокрівлі та обробці результатів).*

17. Возняк О. Т. Вплив вітру на роботу сонячного колектора з гофрованим теплопоглиначем / О.Т. Возняк, О.М. Пона, С.П. Шаповал // Вісник національного технічного університету «ХПІ». Збірник наукових праць. Серія: Математичне моделювання в техніці та технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2014. – №18 (1061). с. 32-38. *(Особистий внесок полягає у встановленні рівня впливу вітру на тепловіддачу сонячного колектора).*

18. Возняк О.Т. Вплив напряму та швидкості повітряного потоку на роботу сонячного колектора без прозорого покриття / О. Т. Возняк, С. П. Шаповал, О.М. Пона, І.І. Венгрин // Строительство и техногенная безопасность // Сборник научных трудов. – Симферополь. – 2014 – Выпуск № 50. с. 49-52. *(Особистий внесок полягає у визначенні впливу швидкості та напряму вітру на ефективність геліоколектора).*

19. Возняк О. Т. Дослідження ефективності комбінованого сонячного колектора / О. Т. Возняк, С. П. Шаповал, О.М. Пона // Науковий вісник Національного лісотехнічного університету України: зб. наук.-техн. праць / гол. ред. Д. Л. Дудюк. – Львів: РВВ НЛТУ України, 2013. – Вип.23.13. – с. 171-174. *(Особистий внесок полягає у дослідженні комбінованого сонячного колектора у системі сонячного теплопостачання).*

20. Пона О.М. Оцінка економічного ефекту від використання геліопокрівлі / Пона О.М., Возняк О.Т., Шаповал С.П., Касинець М.Є. // Актуальні проблеми систем теплогазопостачання і вентиляції, водопостачання і водовідведення. Зб. наук. праць. – Рівне: НУВГП, 2015. – С. 175-176. *(Особистий внесок полягає у проведенні розрахунку приведених річних затрат на систему теплопостачання з геліопокрівлею та традиційними сонячними колекторами).*

21. Пона О.М. Вплив повітряного потоку на роботу сонячного колектора без прозорого покриття / Пона О.М. Возняк О.Т. // 3-й міжнародний конгрес. Захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування. Збірник матеріалів. – Львів, 17-19 вересня 2014. – С. 82. *(Особистий внесок полягає у обробленні результати експериментальних досліджень впливу повітряного потоку на роботу сонячного колектора без прозорого покриття).*

22. Пона О.М. Дослідження роботи геліопокрівлі у механічній системі теплопостачання / Пона О.М., Возняк О.Т., Шаповал С.П. // Міжнародна науково-практична виставка-конференція молодих учених та студентів. Інновації у будівництві. Збірник тез доповідей. – Луцьк, 20-22 листопада 2014. – С. 162-165. *(Особистий внесок полягає у отриманні залежності ефективності геліопокрівлі від кутів падіння теплового потоку та його інтенсивності).*

23. Возняк О.Т. Дослідження ефективності геліопокрівлі з прозорим покриттям / Возняк О.Т., Шаповал С.П., Пона О.М. // Энергосберегающие технологии теплогазоснабжения, строительства и муниципальной инфраструктуры. Материалы Международной научно-практической интернет-конференции. – Харьков,

23 октября-22 ноября 2013. – С. 59-62. (*Особистий внесок полягає у виконанні та обробленні результатів експериментальних досліджень ефективності роботи геліопокрівлі з прозорим покриттям*).

24. Zhelykh V. Perspectives of using heliosystems and their research in solar heating system / V. Zhelykh, O. Pona, A. Eltman, S. Shapoval // XV International Scientific Conference: Current issues of civil and environmental engineering and architecture, Rzeszów – Lviv – Kosice, 9-10 September 2015.- s. 100-101. (*Особистий внесок полягає у обробленні результатів лабораторних досліджень геліосистеми*).

25. Пона О.М. Зміна ефективності геліопокрівлі в активній системі теплопостачання при впливі на неї вітру / Пона О.М., Гулай Б.І. // Нетрадиційні і поновлювальні джерела енергії як альтернативні первинним джерелам енергії в регіоні: Матеріали Восьмої міжнародної науково-практичної конференції. Збірник наук. статей – Львів: ЛьДЦНТІ, 2-3 квітня 2015. – С. 169-172. (*Особистий внесок полягає у проведенні експериментальних досліджень ефективності роботи геліопокрівлі при впливі на неї вітру*).

26. Пона О.М. Підвищення енергоефективності покриття будівель / Пона О.М., Венгрин І.І., Шаповал С.П. // Матеріали Всеукраїнської конференції молодих учених і студентів «Перспективи розвитку будівельної галузі». – Полтава: ПолтНТУ, 27 грудня 2014. – С. 149-151. (*Особистий внесок полягає у отриманні залежностей ефективності геліопокрівлі від кутів падіння теплового потоку*).

27. Патент України № 111910 UA МПК E04D 13/18 (2014.01), F24J 2/04 (2006.01), F24J 2/24 (2006.01), F24J 2/46 (2006.01). Система теплопостачання із геліопокрівлею / С.П. Шаповал, О.М. Пона // Промислова власність. – 2016. – № 14; заявл. 10.03.2015; опубл. 24.06.2016, Бюл. № 14. (*Особистий внесок полягає у розробленні конструкції геліопокрівлі*).

28. Патент України № 84945 UA МПК F24J 2/04 (2006.01), F24J 2/24 (2006.01). Сонячний колектор / О. Т. Возняк, С. П. Шаповал, О.М. Пона // Промислова власність. – 2013. – № 21; заявл. 02.04.2013; опубл. 11.11.2013, Бюл. № 21. (*Особистий внесок полягає у розробленні конструкції сонячного колектора*).

29. Патент України № 92010 UA МПК(2014) F24J 2/00. Гравітаційна геліосистема / В.М. Желих, О. Т. Возняк, С. П. Шаповал, Б.І Гулай, О.М.Пона // Промислова власність. – 2014. – №14; заявл. 24.02.2014; опубл. 25.07.2014, Бюл. № 14. (*Особистий внесок полягає у розробленні конструкції сонячного колектора*).

30. Патент України № 92009 UA МПК F24J 2/34 (2006.01). Комбінована система сонячного теплопостачання / С. П. Шаповал, О. Т. Возняк, О.М. Пона // Промислова власність. – 2014. – №14; заявл. 24.02.2014; опубл. 25.07.2014, Бюл. №14. (*Особистий внесок полягає у розробленні конструкції ССТ*).

АНОТАЦІЯ

Пона О.М. Підвищення ефективності комбінованої системи теплопостачання з геліопокрівлею. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.14.06 – технічна теплофізика та промислова теплоенергетика. – Національний університет «Львівська політехніка», Львів, 2018.

Дисертація присвячена вирішенню актуальної проблеми підвищення ефективності систем сонячного теплопостачання з геліопокрівлею, яка поєднує її конструктивно-архітектурну функцію з можливістю поглинання нею сонячної енергії та перетворення її в теплову енергію при зниженні матеріальних і трудових затрат.

Створено математичну модель системи теплопостачання з геліопокрівлею та здійснено математичне моделювання її роботи, що дало змогу визначити термоакумуляційні властивості геліосистеми.

Розроблено схемні рішення різних конструкцій геліопокрівлі, для яких проведено комплекс досліджень ефективності систем теплопостачання з геліопокрівлею залежно від кутів падіння та інтенсивності теплового потоку, швидкості та напрямку вітру. Отримано графічні та аналітичні залежності, з використанням їх для інженерних розрахунків геліосистем.

Розроблено методику інженерного розрахунку та комп'ютерну програму для визначення параметрів системи сонячного теплопостачання з різними конструкціями геліопокрівлі, а також варіанти її використання в комбінованих системах. Визначено економічну ефективність використання геліопокрівлі у системах теплопостачання.

Ключові слова: сонячна енергетика, геліопокрівля, система сонячного теплопостачання, гофрований теплопоглинач, тепла потужність.

АННОТАЦИЯ

Пона О.М. Повышение эффективности комбинированной системы теплоснабжения с гелиокровлей. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.06 – техническая теплофизика и промышленная теплоэнергетика. – Национальный университет «Львовская политехника», Львов, 2018.

Диссертация посвящена решению актуальной проблемы повышения эффективности систем солнечного теплоснабжения с гелиокровлей, которая сочетает конструкционно-архитектурные функции с возможностью поглощения падающей солнечной энергии ее металлическим профильно-гофрированным покрытием для превращения в тепловую энергию за счет трубок контура циркуляции теплоносителя, вмонтированного в контакте с листовым теплопоглотителем непосредственно в конструкцию кровли.

Создана математическая модель работы системы солнечного теплоснабжения с гелиокровлей, что позволяет определить ее термоакумуляционные свойства при разной скорости воздействия на нее ветрового потока.

Проведен комплекс лабораторных исследований влияния определяющих факторов (углов падения и интенсивности теплового потока, направления и скорости ветра) на эффективность работы различных вариантов конструкции гелиокровли. На основе проведенных экспериментальных исследований построены графические и аналитические зависимости эффективности разработанных систем с гелиокровлей для инженерных расчетов систем солнечного теплоснабжения. Результаты

исследований представлены в виде соответствующих номограмм, обработка которых позволяет решать как прямые, так и обратные задачи оценки эффективности гелиосистем при комплексной изменении уровня влияния на гелиокровлю определяющих факторов. Для проведения экспериментальных исследований была составлена матрица планирования трифакторного эксперимента с учетом взаимодействия факторов, на основе которой получено уравнение регрессии, которая позволяет определить количественное влияние факторов на функцию отклика.

Получены экспериментальные данные оценки эффективности гелиосистем в зависимости от схемы расположения трубок контура циркуляции теплоносителя относительно теплопоглотителя в конструкции гелиокровли. Показана более высокая эффективность системы теплоснабжения гелиокровлей при расположении циркуляционных трубок на поверхности гофрированного теплопоглотителя по сравнению с вариантом их расположение под ними.

Исследована степень влияния ветрового потока на работу гелиокровли и установлено приоритетное влияние на ее эффективность скорости ветра и значительно меньшее влияние направления его действия. Экспериментально подтверждена возможность повышения эффективности комбинированной с гелиокровлей системы солнечного теплоснабжения при использовании прозрачного покрытия на поверхности теплопоглотителя.

Апробация разработанной системы теплоснабжения в натуральных условиях подтверждает ее работоспособность и полученные результаты подтверждают ее работоспособность и достоверность лабораторных исследований. Разработана методика инженерного расчета и компьютерная программа для определения параметров системы солнечного теплоснабжения с различными конструкциями гелиокровли, а также варианты ее использования в различных системах солнечного теплоснабжения. При расчете удельной тепловой мощности гелиокровли учитываются коэффициенты эффективности различных конструкций гелиокровли, которые определяются по соответствующим эмпирическим зависимостям, полученных экспериментальным путем. На основе разработанного метода составлено компьютерную программу для расчета параметров системы солнечного теплоснабжения с гелиокровлей. По расчету установлено, что удельная тепловая мощность гелиокровли с прозрачным покрытием в течение дня достигает 660 Вт/м^2 . При этом КПД гелиосистемы с гелиокровлей составляет 72%. Схемные решения использования разработанных конструкций гелиокровли в комбинированных системах солнечного теплоснабжения защищены патентами Украины.

Определено экономическую эффективность использования гелиокровли в системах солнечного теплоснабжения. Экономическая оценка целесообразности применения системы солнечного теплоснабжения с гелиокровлей осуществлена по приведенным и удельными приведенными годовыми затратами. Установлено, что удельные приведенные затраты системы солнечного теплоснабжения с использованием гелиокровли в среднем на 18% ниже, чем затраты на гелиосистему с использованием традиционных солнечных коллекторов. Срок окупаемости системы солнечного теплоснабжения с использованием гелиокровли составляет 5,9

лет, тогда как срок окупаемости систем солнечного теплоснабжения с обычными солнечными коллекторами составляет 11-9 лет.

Ключевые слова: солнечная энергетика, гелиокровля, система солнечного теплоснабжения, гофрированный теплопоглотитель, тепловая мощность.

ABSTRACT

O. Pona. Increase in efficiency of the combined heat supply system with solar roof. - Manuscript.

Thesis submitted for the Degree of Candidate of Engineering Sciences in specialty 05.14.06 – "Technical Thermophysics and Industrial Thermal Power Engineering". – Lviv Polytechnic National University, Lviv – 2018.

The mathematical model of the heat supply system with solar roof was created and the mathematical modelling of its operation was conducted, which enabled the determination of the thermal accumulative properties of the solar system.

The schematic solutions of various structures of solar roof were developed. The complex of studies in relation to the efficiency of the heat supply systems with solar roof depending on the incidence angles, heat flow intensity, wind velocity and direction was conducted. The graphical and analytical dependences were obtained involving their usage for engineering calculations of the solar systems.

The method of engineering calculations and computer program for determination of parameters of the solar heat supply system with different designs of solar roof and options of its usage in the combined systems were developed. The economic efficiency of solar roof usage in the heat supply systems was determined.

Key words: solar energy, solar roof, solar heat supply system, corrugated heat absorber, heat power.