МІНІСТЕРСТВО ОСІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Харківський національний університет імені В.Н.Каразіна

Навчально-науковий інститут комп'ютерної фізики та енергетики

Пояснювальна записка

до дипломної роботи

за освітньо-професійним рівнем «магістр»

«Дослідження критеріїв комплексного теплопостачання будинку за допомогою сонячної енергії»

Виконав студент II курсу

групи НФ-62

Клітченко Данило Тимофійович

Спеціальність 105 – прикладна фізика та наноматеріали

Освітня програма: Прикладна фізика енергетичних систем.

Керівник к.т.н. Казарова І. О.

Рецензент

Харків – 2021 року

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Харківський національний університет імені В.Н.Каразіна

Навчально-науковий інститут комп'ютерної фізики та енергетики

Кафедра теплофізики, молекулярної фізики та енергоефективності
Рівень вищої освіти (освітньо-кваліфікаційний рівень) магістр
Спеціальність 105 – прикладна фізика та наноматеріали

ЗАТВЕРДЖУЮ
В.о. завідувача кафедри

_____ Ольга ЛІСІНА

"___" _____2021 року

З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ (ПРОЕКТ)

Клітченка Данила Тимофійовича
(прізвище, ім'я, по батькові студента)

1. Тема роботи: «Дослідження критеріїв комплексного теплопостачання будинку за допомогою сонячної енергії»

Керівник роботи __Казарова Інна Олександрівна, к. т. н._____

затверджені наказом по університету від "30" вересня 2021 року №0210-05/1959

2. Строк подання студентом роботи_____

3. Перелік питань, які потрібно розробити

Огляд варіантів сонячного випромінювання і його впливу на роботу певних геліосистем. Особливості вибору сонячних колекторів та аналіз їх характеристик. Огляд рішень що оптимізують роботу сонячних колекторів. Аналіз варіантів оптимального розташування сонячного будинку. Основи розрахунку системи сонячного нагріву води для опалення та гвп приватного будинку

4. План роботи

№ з/п	Назви етапів роботи
1.	Вибір теми, узгодження, закріплення за кафедрою
2.	Робота над літературою та іншими джерелами
3.	Затвердження теми на кафедрі
4.	Написання вступу до роботи та першого розділу
5.	Написання другого розділу
6.	Написання третього розділу
7	Написання четвертого розділу
8	Написання пятого розділу
9	Завершення написання дипломної роботи (висновки та література)
10	Подача науковому керівнику, доробка з урахуванням зауважень
11	Відгук. Рецензія.
12	Підготовка до захисту
13	Попередній захист на кафедрі
14	Захист

5. Дата видачі завдання_____

Студент _____ Данило КЛІТЧЕНКО

Керівник роботи _____ Інна КАЗАРОВА

Реферат

Клітченко Данил Тимофійович «Дослідження критеріїв комплексного теплопостачання будинку за допомогою сонячної енергії»(випускна робота магістра). – Харків : ХНУ імені В.Н. Каразіна, 2021, - 65 с.

Робота складається з вступу, п’яти розділів, висновок; містить 36 рисунків, 8 таблиць, список використаних джерел з 13 найменувань.

Проаналізован радіаційний режим м.Харківа. Проведено параметричне порівняння основних видів геліоколекторів різної конструкції поширених на ринку, особливості їх роботи та обрано більш ефективний з них. Представлені основні методи оптимізації геліосистем, які максимально збільшують продуктивність та термін експлуатації даного обладнання. Проведено аналіз розташування сонячного будинку, та проведенно дослідження оптимального кута геліоустанови до горизонту, при якому ефективність геліоколектора є максимальною у кожну пору року у регіоні м. Харківа. Представлені основні та інноваційні матеріали та методи які можуть використовуватися для ефективного акумулювання теплової енергії виробленою геліосистемою. Розрахована оптимальна загальная площа та кількість сонячних колекторів для горячого водопостачання та опалення будинку у районі м. Харків.

***Ключові слова*:** геліосистема, геліоколектор, сонячне випромінювання, сонячний дім, акумулювання теплової енергії, ГВП.

Abstract

Klitchenko Danylo Tymofiiovych "Criteria research of complex heat supply of the house based on solar energy" (master's graduation work). - Kharkiv V. N. Karazin Kharkiv National University, 2021, - 65 p.

The work consists of an introduction, five chapters and conclusion; contains 36 figures, 8 tables, and list of used sources with 13 nominations

The radiation regime of Kharkiv is analyzed here. A parametric comparison of the main types of solar collectors of different designs common in the market, the peculiarities of their work and selected the most effective of them is presented in this work. The main methods of optimization of solar systems, which maximize the productivity and service life of this equipment are presented. An analysis of the location of the solar house, and a study of the optimal angle of the helio system to the horizon, at which the efficiency of the heliocollector is maximum at any time of year in the region of Kharkiv. The main and innovative materials and methods that can be used for efficient accumulation of thermal energy produced by the solar system are analized in this work. The optimal total area and number of solar collectors for hot water supply and heating of the house in the area of Kharkiv is calculated.

Keywords: heliosystem, solar collector, solar radiation, solar house, accumulation of thermal energy.

ЗМІСТ

ВСТУП……5

1. ОГЛЯД ВАРІАНТІВ СОНЯЧНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ І ЙОГО ВПЛИВУ НА РОБОТУ ПЕВНИХ ГЕЛІОСИСТЕМ……9

   1.1. Складові компоненти сонячного випромінювання……9

   1.2. Оптимізоване позиціонування сонячних геліосистем…….....16

2. ОСОБЛИВОСТІ ВИБОРУ СОНЯЧНИХ КОЛЕКТОРІВ ТА АНАЛІЗ ЇХ ХАРАКТЕРИСТИК……21

   2.1. Порівняння характеристик основних видів геліосистем……..21

   2.2. Економічні характеристики……30

   2.3. Коефіцієнт корисної дії…….....32

3. ОГЛЯД РІШЕНЬ ЩО ОПТИМІЗУЮТЬ РОБОТУ СОНЯЧНИХ КОЛЕКТОРІВ……..33

   3.1. Автоматизоване відстеження положення сонячного колектору…….33

   3.2. Метод запобігання режимової стагнації……38

   3.3. Технологія захисту від перегріву ThermProtect……47

4. АНАЛІЗ ВАРІАНТІВ ОПТИМАЛЬНОГО РОЗТАШУВАННЯ СОНЯЧНОГО БУДИНКУ……52

   4.1. Визначення сонячного будинку……..52

   4.2. Визначення оптимального кута нахилу сонячного колектору залежно від тривалості роботи протягом року у районі міста Харків…….55

5. ОСНОВИ РОЗРАХУНКУ СИСТЕМИ СОНЯЧНОГО НАГРІВУ ВОДИ ДЛЯ ОПАЛЕННЯ ТА ГВП ПРИВАТНОГО БУДИНКУ……..59

   5.1. Загальне положення. Початкові умови розрахунку……..59

   5.2. Розрахунок площі сонячних колекторів для гарячого водопостачання та опалення приватного будинку…….....59

ВИСНОВКИ……..64

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ…….....66

ВСТУП

В результаті постійного підвищення комунальних послуг на опалення гостро виникає питання економії енергетичних ресурсів, застосування більш енергозберігаючих матеріалів для утеплення оселі, та енергомодернізація застарілих методів опалення. Одним з потужних невичерпних джерел енергії є Сонце, яке щодня поставляє величезну кількість кіловат безкоштовної енергії. Необхідно встановити відповідне обладнання, і залежність від постачальників мережевих ресурсів залишиться в минулому.

Одним з визначальних принципів побудови будь-якої опалювальної системи є її доцільність. Тобто всі капіталовкладення повинні окупитися за певний проміжок часу. В цьому плані опалення будинку сонячною енергією є найбільш ефективним і фінансово вигідною інвестицією.

Основною з проблем використання сонячної енергії для опалення та ГВП в східних регіонах України є недостатня кількість сонячної енергії падаючої на плоску поверхню. У даній роботі представлені основні методи збільшення енергоефективності геліосистем та проведені необхідні дослідження щодо оптимального розташування геліосистеми у регіоні м. Харків.

При виконанні магістерської роботи застосовані методи літературного аналізу, підсумку та розрахункових досліджень. В даній дипломній роботі мені була поставлена задача проаналізувати ефективність методу опалення приватного будинку на основі сонячної енергії.

Для того щоб реалізувати дану задачу потрібно було вирішити наступні завдання.

1. Огляд варіантів сонячного випромінювання і його впливу на роботу певних геліосистем.
2. Особливості вибору сонячних колекторів та аналіз їх характеристик.
3. Огляд рішень що оптимізують роботу сонячних колекторів.

4. Аналіз варіантів оптимального розташування сонячного будинку.
5. Розрахунок площі сонячних колекторів для гарячого водопостачання та опалення приватного будинку.

Предмет дослідження – оптимальне використання сонячних колекторів у системах теплопостачання, зокрема в м. Харків.

Об’єкт дослідження – сонячна система теплопостачання.

Новизною роботи є

-дослідження заходів та обладнання спрямованих на збільшення енергоефективності методу опалення приватного будинку сонячною енергії та дослідження оптимального розташування геліосистеми у регіоні м. Харків.

- розрахована площа геліополя та необхідна кількість геліо колекторів для опалення та гарячого водопостачання приватного будинку у регіоні м. Харків.

Практичне значення – збільшення енергетичних показників сонячних колекторів та змістити акцент на раціональне акумулювання теплової енергії.

РОЗДІЛ 1

ОГЛЯД ВАРІАНТІВ СОНЯЧНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ І ЙОГО ВПЛИВУ НА РОБОТУ ПЕВНИХ ГЕЛІОСИСТЕМ

1.1 Складові компоненти сонячного випромінювання

Залежно від обставин, енергетичну складову сонячного випромінювання визначають за розрахунковими залежностями або статистичними даними результатів багаторічних спостережень. Перший метод є найбільш поширеним у світовій практиці. Як правило, такий метод не дає можливості врахувати локальні особливості клімату. Однак його широко використовують у визначенні енергетичного потенціалу при розрахунку геліотеплопостачання. Існуючі розрахункові вирази, в першу чергу, орієнтовані на визначення кількості сонячної енергії, що надходить на горизонтальну поверхню. Обмежуються зазвичай способами розрахунку середньої добової величини приходу сонячної енергії (для оцінки середньомісячних енергетичних балансів). Параметри клімату, змінні протягом дня, використовуються для аналізу і проектування властивостей саморегулювання будівлі, а також для розрахунку акумулюють масивів (Вбудованих в конструктивну частину будівлі і баків-акумуляторів інженерних систем на одне-дводобовий період).

Сумарна сонячна енергія на горизонтальну поверхню зазвичай представляється сумою локальних за часом сум складових - прямого і розсіяного випромінювання. обчислення першого що становить неважко для умов так званого «Ясного неба», але має дещо суб'єктивний характер для «хмарного неба», визначаючи останній за допомогою «коефіцієнта хмарності » або іншим чином.

Розрахунок розсіяної сонячної радіації будується, як правило, на ізотропної моделі небосхилу, що не дає помітних спотворень результатів розрахунків, у

порівнянні з натурними вимірами для горизонтальній поверхні. Однак при розрахунках сумарних надходжень сонячної енергії на похилу поверхню різної орієнтації дана модель вносить значну помилку, завищуючи результати для північній орієнтації і занижуючи їх для південної орієнтації похилій поверхні. Ступінь розбіжності результатів даних розрахунків з середньостатистичними даними вимірів може бути досить значною (на 50-200%), особливо в умовах превалюють компонентів розсіяною і відбитої радіації, що особливо характерно для клімату України.

Анізотропна модель більш повно враховує зазначені особливості радіаційного режиму, однак при відсутності даних метеорологічних досліджень вносяться в математичний опис поправочні коефіцієнти носять найчастіше суб'єктивний характер або можуть бути обчислені на підставі статистичної обробки результатів спостережень, але в цьому випадку просто відпадає необхідність в подібних розрахунках, так як досить скористатися довідковими даними для шуканих вихідних значень. Обґрунтованим можна вважати аналіз деяких моделей, найбільш поширених у світовій практиці, - ізотропної (Лю-Джорана, Даффі-Бекмана і ін.) і анізотропної моделі небосхилу (Клачера, Переза і ін.). Відзначено, що при визначенні середньомісячних значень в літню пору результати розрахунків практично ідентичні, а в зимовий період результати, ближчі до натурних вимірів, дає анізотропна модель небосхилу. Однак для зимового періоду розрахунок часових і денних значень по зазначеним моделям дає неточні результати.

Енергетичну складову сонячного випромінювання Q_α, падаючу на похилу поверхню (або сонячний колектор), поділяють на складові: пряму радіацію S_α, розсіяну D_α і відображену R_α.

$$Q_\alpha = S_\alpha + D_\alpha + R_\alpha \qquad (1.1)$$

За інших рівних умов відображена складова є максимальної за значеннями для вертикальних стін (поверхонь) і залежить, в першу чергу, від альбедо поверхні землі, величина якого є найбільш близькою до одиниці для умов зимового опалювального періоду. Розрахункові умови для похилих поверхонь можуть бути з певною вірогідністю обчислені для південної орієнтації з азимутним відхиленням ± 15-30 ° С. Для іншої орієнтації розрахункові значення можна вважати вельми далекими від реальних. Найбільш вірогідно розраховуються відбиті і розсіяні компоненти для південної поверхні. Наприклад, для ізотропного моделі:

$$D_{\text{ст}} = \frac{D}{2} \tag{1.2}$$

$$D_{\alpha} = \frac{D \cdot (1 + \cos \alpha)}{2}; \tag{1.3}$$

а для анізотропної моделі в умовах континентального клімату для вертикальної стіни:

$$(D + R)_{\text{ст.а}} = (D + R)_{\text{ст}} \cdot (0.25 + \cos h_n + 0.45) \cdot A_1; \tag{1.4}$$

Таблиця 1.1 Значення альбедо A_1 поверхні

Поверхня	Орієнтація				
	Пів.	Пів.-С.(Пів.-З)	С(З)	Півн.-С.(Півн.-З)	Півн.
Трава	1.00	0.84	0.80	0.77	0.70
Лід	1.15	0.95	0.92	0.86	0.80

Порівняння результатів розрахунків з вимірами показують, що анізотропна модель, на відміну від ізотропного, дає найбільш близькі до реальності результати, в тому числі і для кліматичних умов, подібних України. Так, для літнього періоду анізотропна модель, по порівняно з ізотропної, показує результати в 2 рази більше для південної орієнтації і в 1,3 рази більше - для східної і західної. Для зимового періоду відповідно в 3 і 2 рази більше. Для

північній орієнтації результати розрахунків збігаються з обох моделей. Сумарна радіація на похилу поверхню південної орієнтації може бути виражена:

$$Q_\alpha = k_\alpha \cdot Q = S' \cdot k_s + (Q - S') \cdot \cos^2 \frac{\alpha}{2} + A \cdot Q \cdot \sin^2 \frac{\alpha}{2}; \quad (1.5)$$

$k_s = \frac{S_a}{S'}$

S_a - добова сума прямої радіації на схил;

S'- сума прямої радіації на горизонтальну поверхню;

A - альбедо поверхні Землі.

Для вертикальної стіни сумарна радіація може бути обчислена:

$$Q_{\text{ст}} = S_{\text{ст}} + k_D \cdot D + 0.5 \cdot Q \cdot A \quad (1.6)$$

$S_{\text{ст}} = S \cdot \cos \alpha$;

$\cos \alpha = \cos h \cdot \cos \psi$;

$\psi = \text{a} - \text{a}_{\text{ст}}$;

a - азимут Сонця;

$\text{a}_{\text{ст}}$- азимут нормалі до стіни;

h - полуденна висота Сонця;

h_n - полуденна висота Сонця на 15-те число кожного місяця.

Для визначення азимута і висоти Сонця щодо даної географічної точки використовують сонячні карти. Значення h_n, що застосовуються для оцінки критичного виносу сонцезахисних пристроїв, були визначені для кожного місяця за допомогою зазначених карт, отримані результати представлені в таблиці.

Таблиця 1.2. Значення h_n для Харківа

	Місяці року											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
h_n	19	27.5	38.2	50	59	63.3	61.5	53.8	42.7	31.3	23.4	16.5

Представлені результати дозволяють виконувати розрахунки і конструювати вікна південної орієнтації, сонячні колектори та інші подібні розрахунки, пов'язані з впливом сонячного випромінювання.

При розрахунку сонцерегулюючих архітектурних і конструктивних елементів будівлі, як правило, використовують методики спрощеного розрахунку, подібні методики, або ж виконують розрахунки за допомогою узагальнюючих спрощених діаграм. Тут даних діаграмах азимут відраховується від північного вектору за годинниковою стрілкою а ± 0-360 °. Так прийнято відраховувати азимут в геодезії та картографії. Таким же чином визначається азимут і в зарубіжній літературі з радіаційного режиму. У вітчизняній практиці розрахунків радіаційного режиму прийнято відраховувати азимут від південного напрямку в обидві сторони до північного, при цьому азимути західного напрямку приймаються зі знаком «плюс» а + 0-180 °, східного - зі знаком «мінус» а - 0 - 180 °. Кожний з компонентів сумарного сонячного випромінювання Q_α залежить не тільки від кута нахилу поверхні, але і від її орієнтації по сторонах світу (азимута). На рис. 1.1. показана схема комплексного опромінення похилій поверхні.

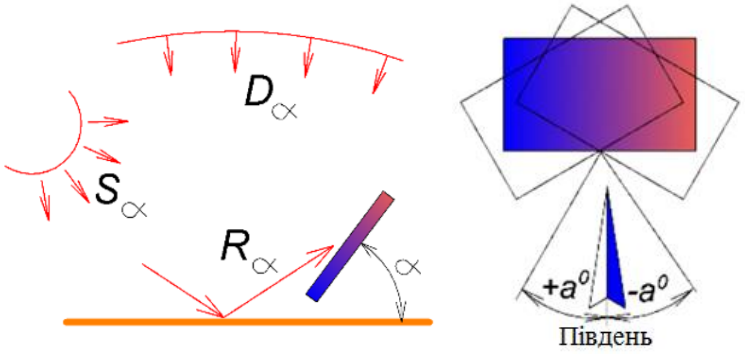


Рис 1.1. Компоненти енергетичного сонячного випромінювання і азимути похилої поверхні.

При відхиленні азимута від південного напрямку сумарне сонячне випромінювання, що надходить на похилу поверхню, буде зменшуватися. На підставі вищевикладених вихідних даних для моделі, зазначеної на рис. 1.1, були обчислені коефіцієнти, що показують, у скільки разів зменшуються сонячні теплонадходження на похилу поверхню в залежності від кута її нахилу при різних азимутах (щодо південного напрямку). Результати розрахунку представлені у вигляді діаграми на рис. 1.2.

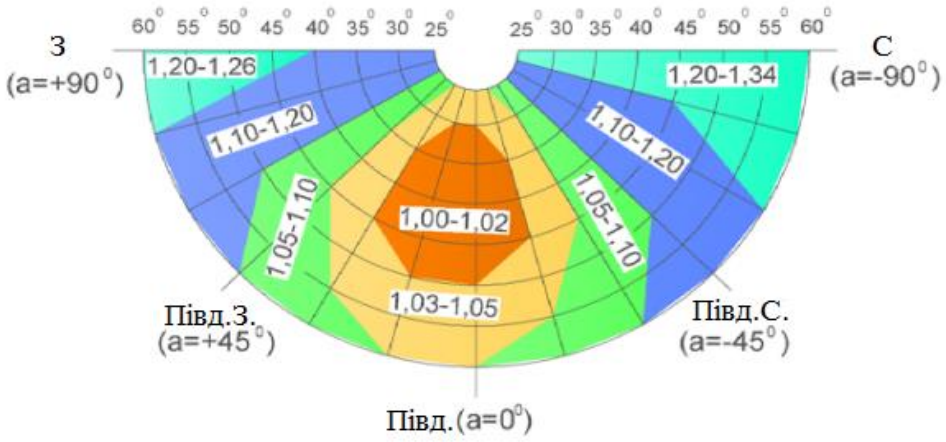


Рис 1.2. Діаграма для визначення коефіцієнта зменшення надходження сумарної сонячної енергії на похилу поверхню в залежності від кута її нахилу при різних азимутах.

Максимальної активністю до сприйняття сонячної енергії в зимовий період мають будівлі широтної орієнтації. При посадці на місцевості будівлі з відхиленням від широтної орієнтації знижується сонячна енергія, яка надходить за опалювальний період, однак таке зниження в межах 5% не відіб'ється на загальних річних теплотехнічних характеристиках будівлі, так як знаходиться в межах похибки вихідних кліматичних даних.

Виходячи з розрахунків для різних географічних областей України при різних азимутах, виявилося, що в літній період має місце «перегрів» східного фасаду на 16-20%, західного, в порівнянні з південним, - на 10-14%. Таким чином, за світловий день питомий надходження сумарної сонячної енергії на східний і західний фасади в 2,2-2,4 рази більше надходження сонячної енергії на південний. Для зимового періоду надходження сумарної сонячної енергії на східний фасад на 55-65% менше її надходження на південний, а на західний - на 40-50%.

1.2 Оптимізоване позиціонування сонячних геліосистем

Колектори повинні бути орієнтовані під певним кутом горизонтальної поверхні. Це залежить від географічне розташування об'єкта. Невеликі відхилення від оптимальних значень не впливають на тепло поглинання, тому що протягом дня лінія руху сонця проходить зі сходу на захід. При цьому кут падіння сонячних променів постійно змінюватиметься.

Лінія руху сонця проходить зі сходу захід. Найбільш ефективна робота колектору відбувається при повному висвітленні модуля та перпендикулярному падінні сонячних променів на модуль. Колектори зазвичай встановлюються на даху за допомогою монтажної конструкції у фіксованому положенні, і не можуть

слідувати за сонцем протягом дня. Тому колектори не можуть працювати з повною віддачою протягом усього дня.

Оскільки протягом року Земля рухається навколо Сонця, також відбуваються сезонні зміни кута падіння сонячних променів на поверхню землі Рис. 2.1.

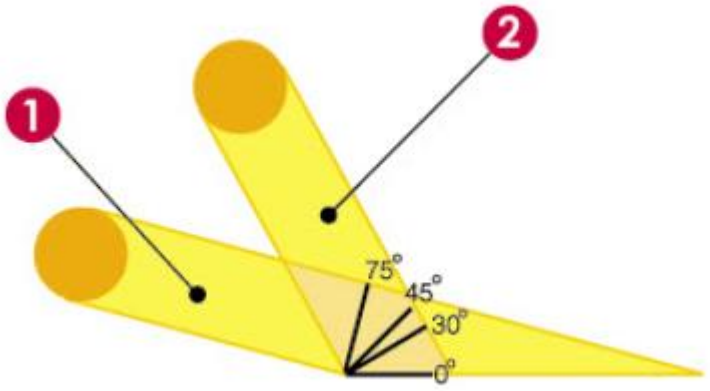


Рис 2.1. 1- кут падіння сонячних променів взимку; 2-кут падіння сонячних променів влітку.

Взимку сонце досягає нижчого кута, ніж улітку, тому колектори взимку мають бути розташовані під більшим кутом, ніж улітку. Це забезпечує їх більш ефективну роботу та дозволяє сонячним колекторам поглинати відбите сонячне світло від снігу. Розташувавши сонячні модулі під великим кутом, Ви також частково вирішуєте проблему зі снігом, що скупчився на панелях. У багатьох випадках він просто не затримуватиметься на сонячному модулі.

Зворотна ситуація з кутом нахилу відбувається у літній період. Чим менший кут, тим краще, звичайно оптимальні кути залежать від Вашого географічного розташування. В ідеалі, кріпити сонячні колектори краще на конструкцію зі змінним кутом нахилу або на трекер. Якщо немає можливості змінювати кут нахилу двічі на рік (літо/зима), то модулі краще закріпити під оптимальним

кутом, значення якого становить середнє між оптимальним літнім і зимовим кутом. Для кожної широти є власний оптимальний кут нахилу сонячних колекторів.

Зазвичай приймається для весни та осені оптимальний кут нахилу рівним значенню широти місцевості. Для зими до цього значення додається 10-15 градусів, а влітку від цього значення забирається 10-15 градусів.

На прикладі колектору потужністю 1 кВт (1кВт/м^2), розглянемо декілька видів розміщення даного обладнання:

1) Фіксований кут нахилу.

Найбільш поширений спосіб кріплення сонячних колекторів на даху будинку під кутом 45 градусів.

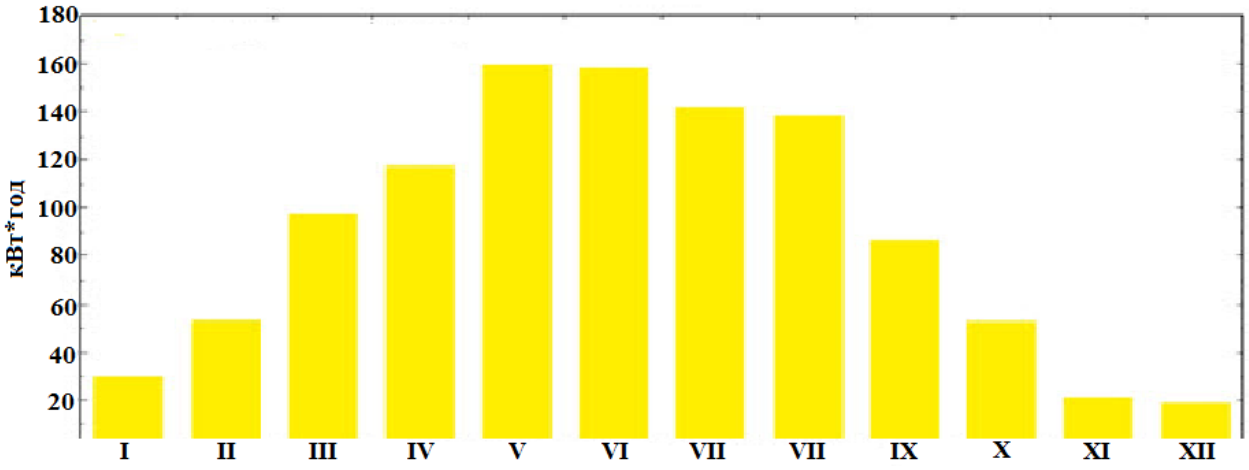


Рис 2.2 Ефективність сонячного колектору 1кВт при фіксованому куту нахилу

2) Сезонна зміна кута нахилу літо/зима.

У тому випадку з системою із змінним кутом нахилу літо/зима, збільшується енергоефективність установи приблизно на 10-12%, що є досить високим

показником. Це особливо актуально у зимовий період, коли використання колектору малоефективне в умовах середньої смуги.

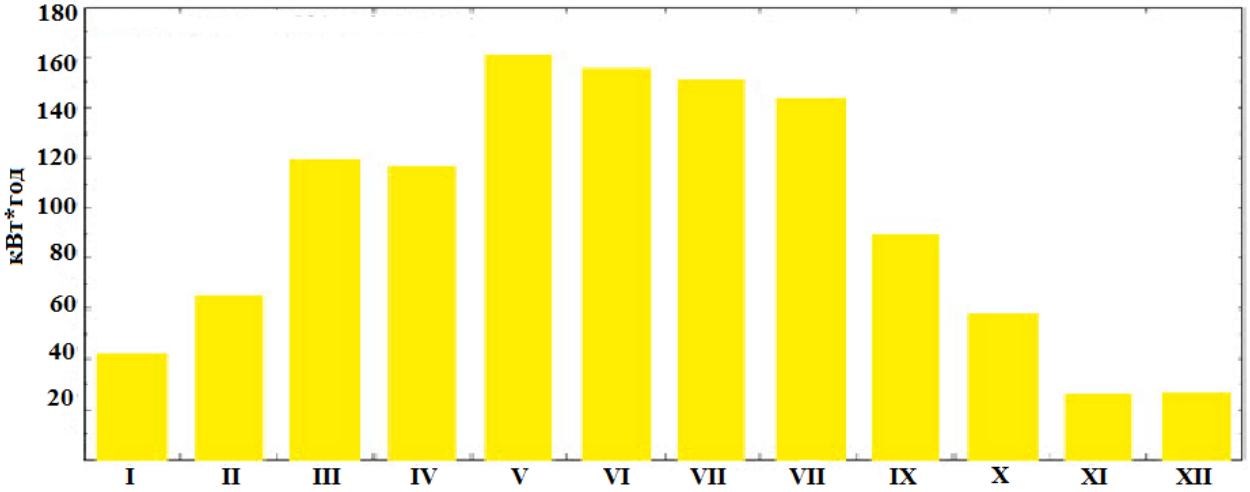


Рис 2.3 Ефективність сонячного колектору 1кВт при сезонній зміні кута нахилу літо/зима.

3) Використання трекера з відстеження оптимального кута по двох осях.

Даний спосіб є найбільш ефективним та дорогим. У разі використання трекера можна покращити енергоефективність колектору на 50%. Установка трекера практично неможлива на даху будинку. Трекери бувають 2-х типів. З відстеженням кута по осі X і системи відстеження по обох осях X і Y. Трекери являють собою окремі конструкції, які, як правило, встановлюються на землі. Принцип роботи ґрунтується на фото датчику, який визначає оптимальний кут падіння сонячних променів.

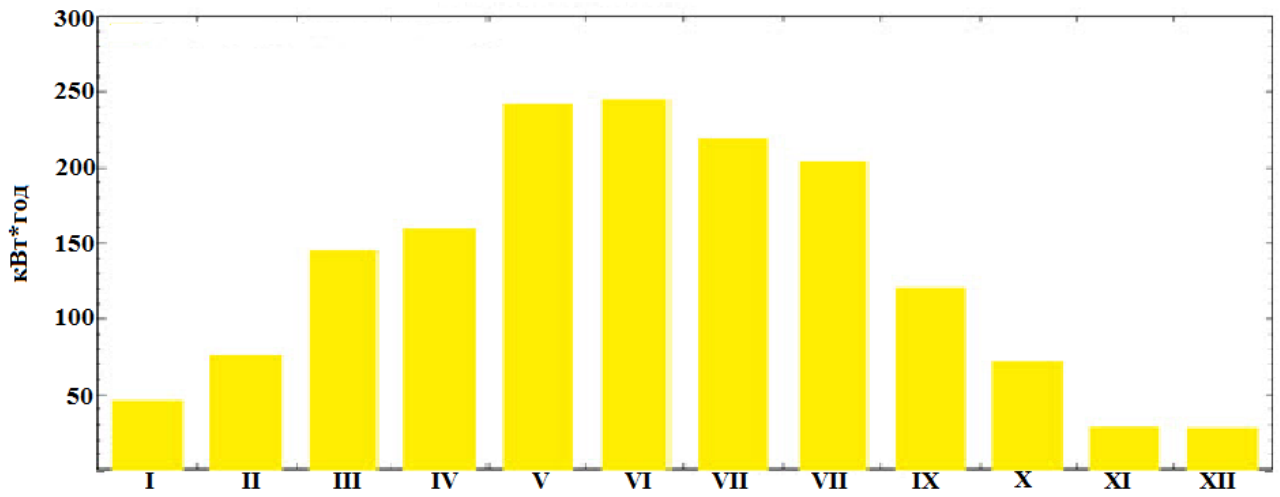


Рис 2.4 Ефективність сонячного колектору 1кВт при використання трекера з відстеженням оптимального кута по двох осях

РОЗДІЛ 2

ОСОБЛИВОСТІ ВИБОРУ СОНЯЧНИХ КОЛЕКТОРІВ ТА АНАЛІЗ ЇХ ХАРАКТЕРИСТИК

2.1 Порівняння характеристик основних видів геліосистем

На даний момент, існує кілька основних видів сонячних колекторів, які значно відрізняються між собою, тому буде більш коректно розглядати кожен тип окремо.

Для зрівняння були обрані чотири основні види вакуумних трубчастих колекторів і один плоский високоефективний:

– вакуумний трубчастий колектор з пір'яним абсорбером і прямоточним тепловими каналом.

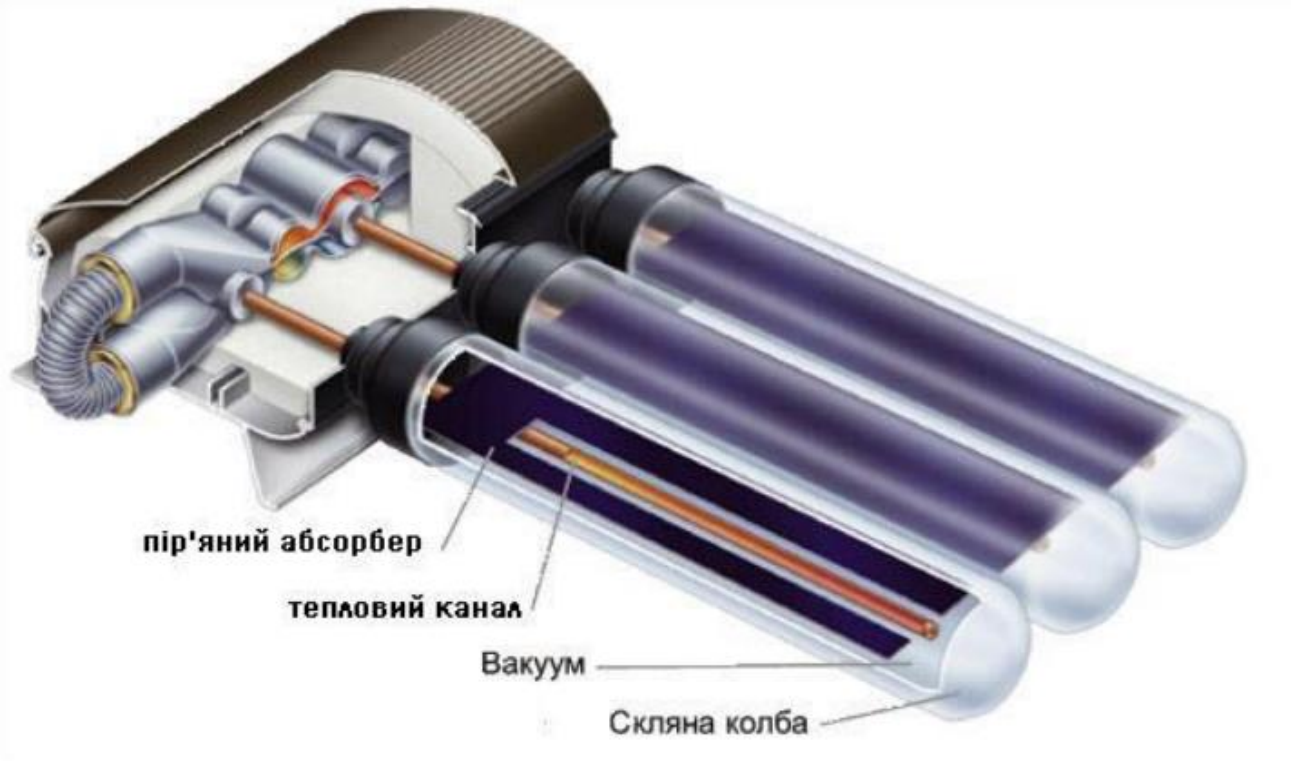


Рис. 2.1. Розріз пір’яної трубки

Вакуум в даній тепловій трубці знаходиться в просторі теплового каналу, в даних установах частина теплового каналу і абсорбера встановлена всередині самої колби.

– Вакуумний трубчастий геліоколектор з пір'яним абсорбером з трубкою "heat pipe";

Геліоколектор оснащений замість традиційних вакуумних трубок більш вдосконаленими тепловими трубками, які представляють собою трубку з тонкостінної міді з легко киплячою рідиною. Колектор складається з набору теплових трубок, - при попаданні сонячного енергії на трубки відбувається кипіння легко закипаючої рідини до температури 250...380°С, її пари піднімаються в верхню частину трубки, яка є конденсатором, та віддають тепло і охолоджуються до перетворення в рідину, що потім знову в нижню частину термотрубки.

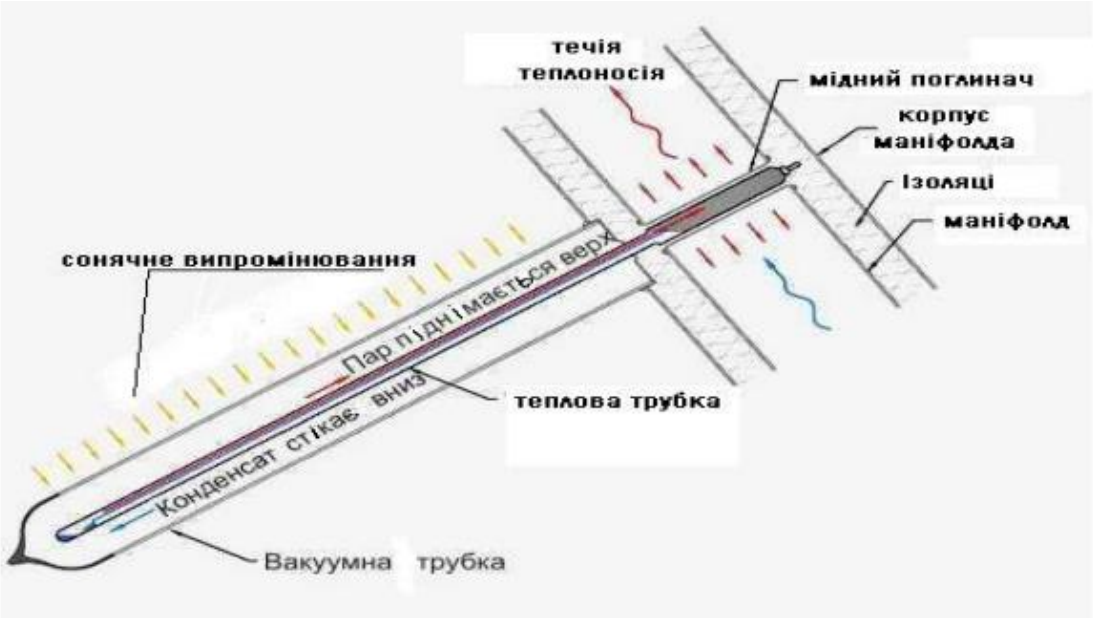


Рис. 2.2. Вакуумний колектор з термотрубками «Heat Pipe»

– U-образний прямоточний вакуумний колектор з коаксіальної колбою і відбивачем.

Коаксіальна трубка за конструкцією схожа на термос, представляє собою подвійною скляну колбу, між трубками якої створений вакуум. На стінці внутрішньої трубки нанесено поглинаюче покриття, тому теплопередача відбувається від самої скляної колби. Коаксіальна вакуумна трубка так само може бути використана для колектору з прямоточним тепловим каналом. Даний тип сонячного вакуумного колектору отримав назву колектор з «U» - подібної трубкою. У даних типах геліоколекторів, за рахунок зменшення теплопередачі (теплота від алюмінієвого шару передається відразу трубках, в яких циркулює теплоносій), максимальний ККД може становити для деяких моделей до 76%. Недоліком може бути те, що при певному характері ушкодження заміни може зажадати весь сонячний геліоколектор, а не тільки колба.

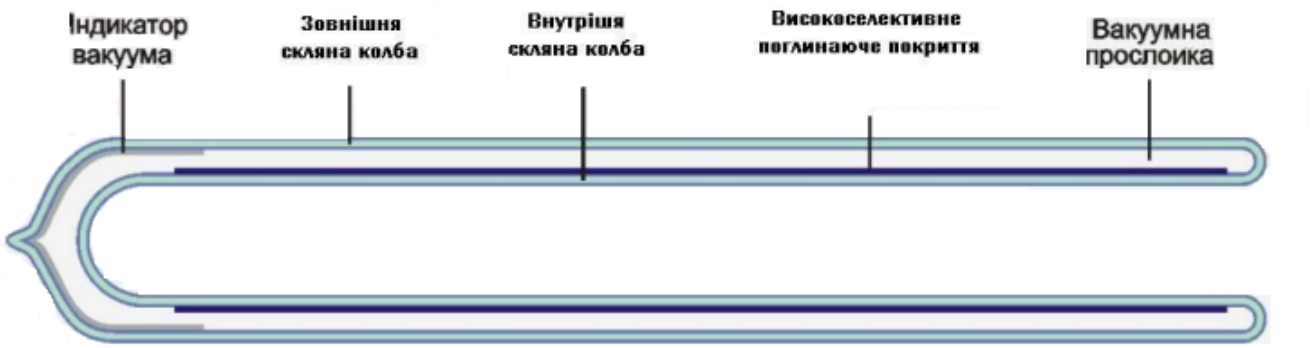


Рис. 2.3. Повздовжній розріз коаксіальної трубки

– Вакуумний трубчастий сонячний колектор з коаксіальної колбою і

тепловою трубкою "heat pipe"



Рис. 2.4. Вид трубки "heat pipe" в розрізі

– Плоский високоефективний сонячний колектор.

Перевагою плоского сонячного колектору є відносна простота конструкції, яка дозволяє здешевити систему за досить високих показників продуктивності та надійності. Недоліком можна назвати високі теплові втрати, які знижують показники вироблення теплової енергії за низької температури повітря. Конструктивно плоский колектор виконаний у вигляді прямокутної пластини. У теплоізольованому корпусі колектору знаходиться основний елемент - абсорбер (поглинаюча пластина). До абсорбера припаяні трубки. Матеріал абсорбера та трубок може бути різним, як правило, застосовуються метали з хорошими теплопровідними характеристиками, такі як мідь та алюміній. Зверху поглинаюча пластина закрита прозорою ізоляцією. Для цього застосовують загартоване скло з низьким вмістом оксидів заліза. Це сприяє більшому проникненню сонячної енергії на пластину.

Під впливом сонячного випромінювання на поверхні абсорбера сонячного колектору відбувається поглинання сонячної енергії, в результаті поглинаюча пластина розігрівається, а теплоносій, що перекачується через трубки, відбирає отримане тепло. Через місця з'єднання пластини абсорбера із трубками. Селективне покриття, яке наноситься на пластину абсорбера, дозволяє поглинати максимально можливу кількість теплової сонячної енергії, при цьому ця енергія майже не випромінюється. Прозора ізоляція (як правило гартоване скло з низьким вмістом заліза) та теплоізоляційний шар покликані знизити втрати теплової енергії.

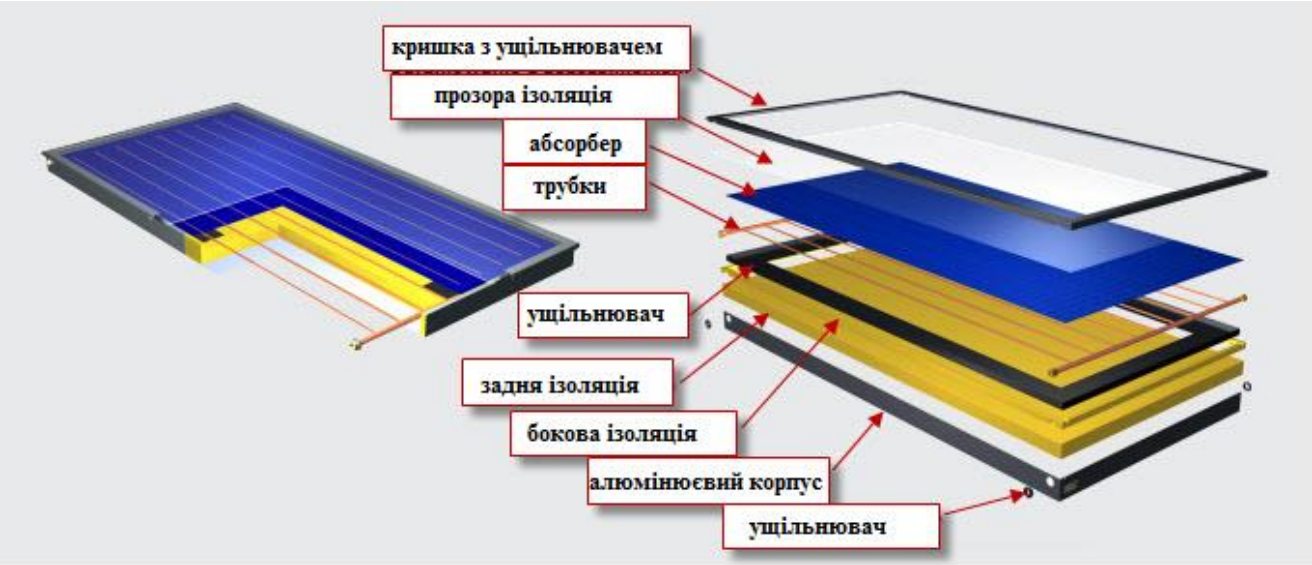


Рис. 2.5. Схема плоского сонячного колектору

Більшість фактів за чи проти того чи іншого типу геліоколектора зводяться до досить абстрактних показників, таких як: «краще поглинання сонячних променів», «відсутність тепловтрат» і т.д. Так як у кожного сонячного геліоколектора є конкретні параметри ефективності, слід довіряти саме цим даними для розрахунку продуктивності а в кожному обраному випадку.



Рис. 2.6. Досліджувані сонячні геліоколектори та їх характеристики

На графіку рис. 2.7 показана залежність ККД від різниці температури між навколишнім середовищем і теплоносієм в сонячному колекторі за умови сонячного випромінювання яке дорівнює 1000 $\frac{Вт}{м^2}$. Для аналізу скористаємося параметрами для кожного обраного типу геліоколектора зазначеними на рис. 2.6.

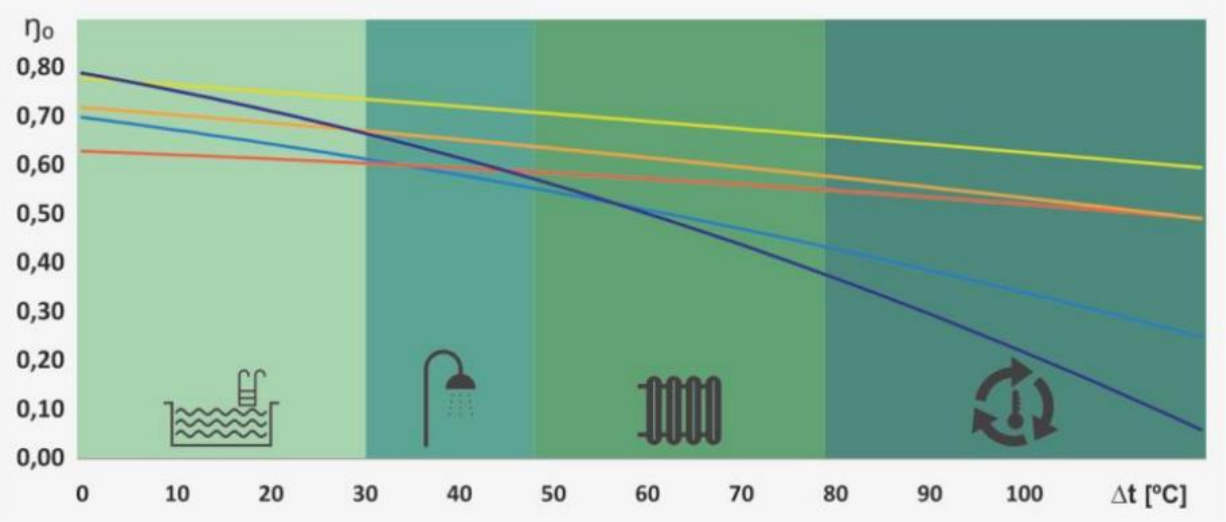


Рис. 2.7. Ефективність досліджуваних геліоколекторів

Перша зона з мінімальною різницею температури відноситься до режиму роботи геліоколектора для нагріву води в басейні. Режим роботи сонячного геліоколектора в другій зоні є оптимальним для гарячого водопостачання на

щорічній основі. Третя зона характерна режиму роботи геліоколекторів для потреб опалення, оскільки температура навколишнього середовища в опалювальний період найнижча. Остання зона характеризує отримання високих температур для використання в технологічних потребах. У побутовому секторі такий температурний режим зустрічається рідко.

З графіка рис. 2.7 ми бачимо, що чим менше Δt (чим нижче температура подачі теплоносія) тим вище ККД сонячного колектору. Саме тому для сонячного колектору оптимальним є використання у якості опалення низькотемпературних систем таких як «теплі підлоги».

Вакуумні трубчасті колектори з плоским пір'яним абсорбером більш продуктивні при роботі на нагрів басейну, та ГВП за рахунок оптичних властивостей, що сприяють кращому абсорбації сонячного світла. Також вакуумний сонячний колектор з коаксіальної колбою має більшу продуктивність в опалювальний період завдяки більшій теплоізоляції.

Діаграма (рис. 2.8.) дозволяє оцінити середню продуктивність геліоколекторів за календарний рік і за опалювальний період (нижня частина).

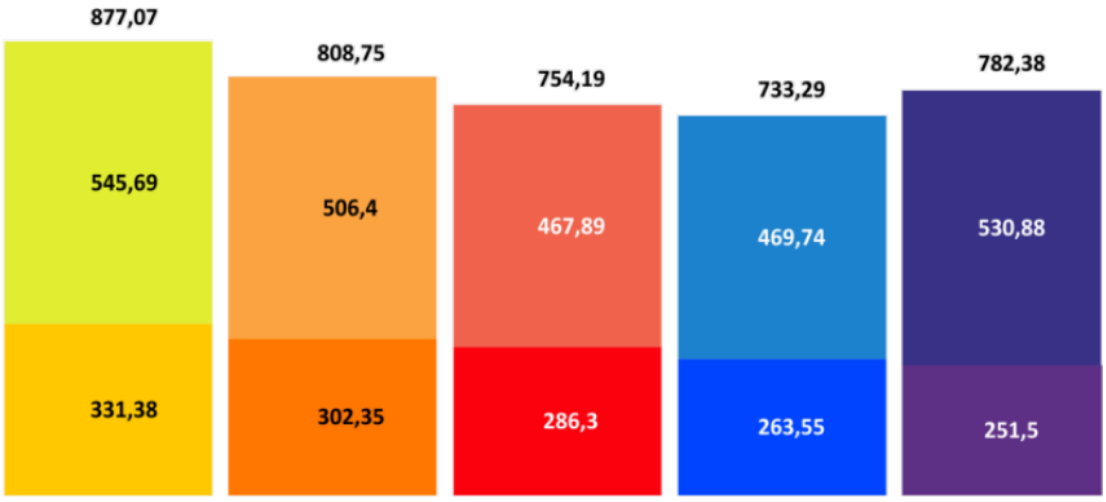


Рис 2.8. Середня продуктивність (кВт*год) колекторів

Інформація про кількість виробленої енергії отримані з використанням цього розрахунку, дозволяє змоделювати роботу геліоколекторів за рік. У дослідженнях використовуються середні дані по сонячному випромінюванню та погоді для міста Харкова. Розрахунки приведені до 1 м² площі кожного типу колектору. Дана діаграма дозволяє оцінити максимальну продуктивність при безперервній роботі геліоколектора під час всього року. На практиці такі умови змоделювати практично неможливо, і не завжди такі умови відображають реальну картину ефективності геліоколектора (рис. 2.9.)

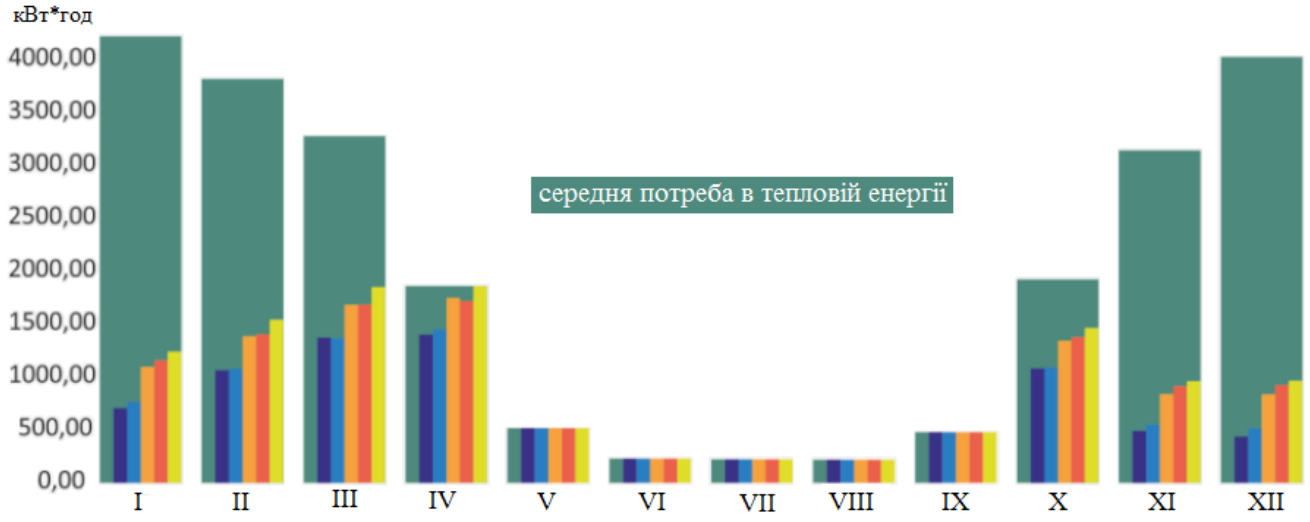


Рис 2.9. Середня продуктивність (кВт*год) колекторів (щомісячно)

Для дослідження реальної ефективності скористаємося життєвим прикладом. Змоделюємо випадок застосування сонячних систем для потреб гарячого водопостачання та підтримки системи опалення теплою підлогою з такими характеристиками:

– загальна площа опалення - 200 м^2;

– тепловтрати - сучасний будинок з високим рівнем теплоізоляції 50 $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$;

– місто розташування - Харків;

– ГВП - 200 л на добу;

– загальна площа колекторів - 30 м^2;

На графіку рис. 2.10. видно, що при застосуванні геліоколектора для опалення, низькі теплові втрати є найбільш важливим фактором. При цьому високі оптичні характеристики дають збільшення вироблення теплової енергії в міжсезоння, коли середня температура навколишнього середовища ще починає зростати, але опалення все ще необхідно.

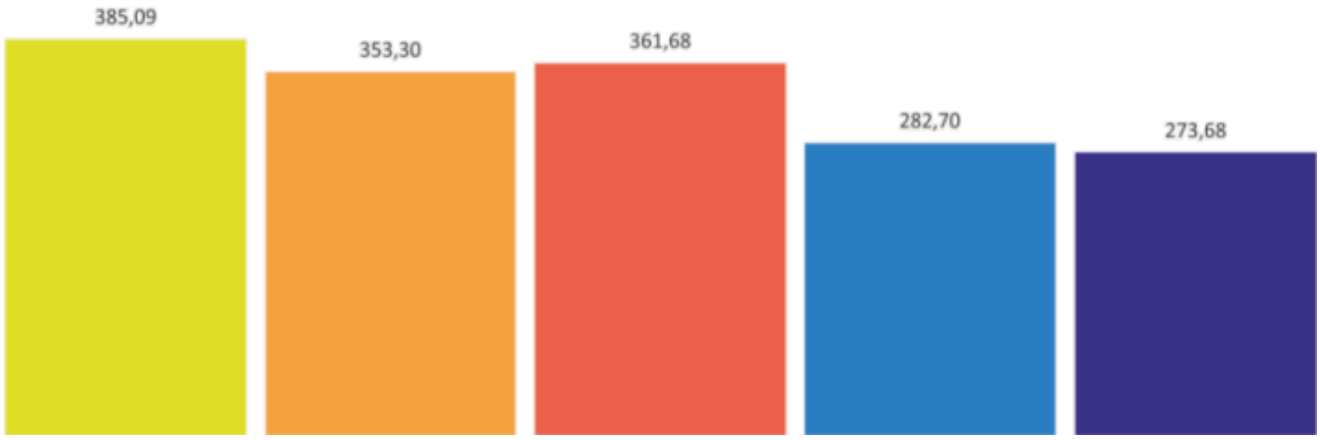


Рис 2.10. Реальна продуктивність (кВт*год) геліосистеми за рік.

У підсумку маємо реальну ефективність сонячної системи за рік. Вартість сонячних колекторів може бути значно різною і залежить від безлічі характеристик: якість збірки обладнання, матеріал абсорбера та корпусу, товщина і спосіб укладання ущільнювача, товщина скла і т.д. Для того щоб оцінити вартість виробленої теплової енергії від геліоколекторів, характеризуємо середньою вартістю одного квадратного метра кожного типу геліоколектора. Так само використовуючи як за основу період експлуатації 25 років і умови експлуатації описані в дослідженні, маємо очікувати вартість отриманого 1кВт*год енергії (рис 2.11.)

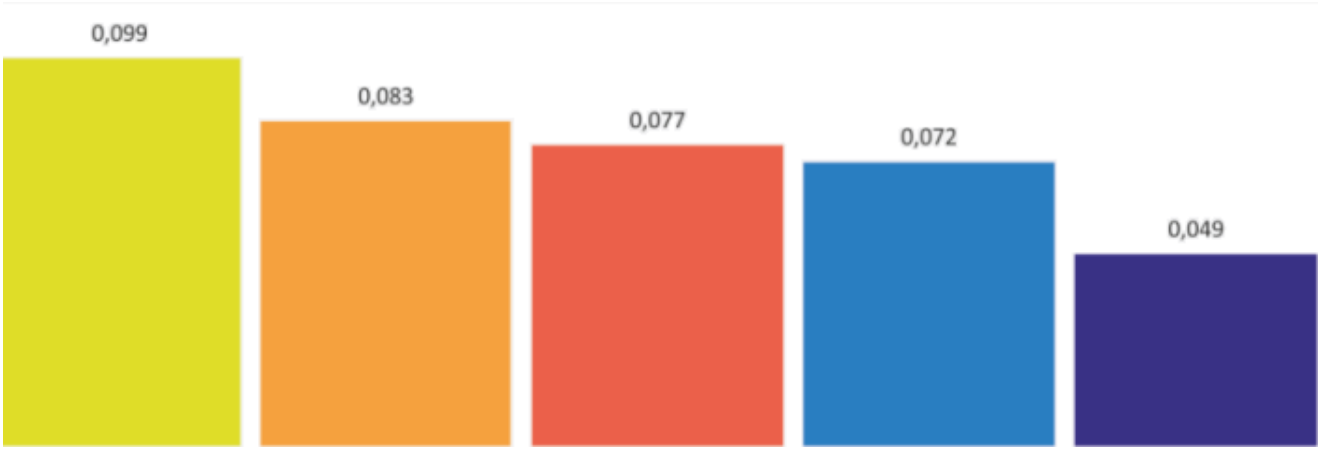


Рис 2.11. Вартість (грн) отриманої енергії від досліджуваних геліоколекторів

Опираючись на дані з графіка, теплова енергія отримана від прямоточного вакуумного геліоколектора з пір'яним абсорбером є найбільш дорогою. А енергія отримана від плоского сонячного колектору є найдешевшою, відповідно до цього, плоскі колектори мають мінімальний час окупності. Однак ціна сонячного колектору не завжди є основним фактором. Але однак, більш дорожчі колектори можуть мати більший термін використання і більш низькі експлуатаційні витрати, пов'язані з ймовірними поломками. У зв'язку з цими фактами, можна розглядати обладнання як дорогих брендових виробників, так і бюджетних варіантів при відповідному рівні початкових капіталовкладень.

2.2 Економічні характеристики

Основна проблема достатнього використання сонячних колекторів пов'язана з їх недостатньою економічною продуктивністю у порівнянні з традиційними методами теплопостачання. Вартість виробленої теплової енергії в установках з с колекторами вище, ніж в обладнаннях з традиційними паливами. Термін окупності геліо установки можна визначити наступною формулою:

$$T = \frac{C}{E \cdot Ц_т - I_{ек}} \quad (2.1)$$

де C – питома вартість геліо установки, $\frac{грн}{м^2}$;

Е – річна кількість енергії яку виробляє геліо установка, $\frac{кВт \cdot год}{м^2}$;

$Ц_т$ – вартість енергії централізованого джерела, $\frac{грн}{кВт \cdot год}$;

I – витрати експлуатації $\frac{грн}{м^2 \cdot год}$

Економічний ефект установки геліоколекторів в зонах централізованого теплозабезпечення може бути визначений як прибуток від продаж енергії в повний термін служби установки враховуючи витрати експлуатації:

$$Е_ф = (T_{сл} - T_{ок}) \cdot (E \cdot Ц_т - I_{ек}) \cdot S \quad (2.2)$$

де S – площа колекторів, $м^2$;

$T_{сл}$ – термін служби геліоустановки;

У таблиці 2.1 представлена вартість обладнання сонячного теплопостачання. Дані в таблиці показують, що вітчизняні системи в 2,5-3 рази дешевше закордонних. Дешевизна вітчизняних систем пояснюється тим, що вони вироблені з дешевих матеріалів, які є прості за конструкцією і орієнтовані на наш внутрішній ринок.

Питомий економічний ефект $(\frac{Е_ф}{S})$ в зоні централізованого теплопостачання, в залежності від терміну служби колекторів, становить від 200 до 800 $\frac{грн}{м^2}$.

Таблиця 2.1. Вартість обладнання сонячного теплопостачання

Найменування	Основні параметри	Питома вартість, $\frac{грн}{м^2}$	
		Вітчизняні	Зарубіжні
Сонячні колектори	Площа сонцеприймальної панелі 0.8 -1.6 $м^2$	100-250	290-500
Системи гарячого водопостачання	На 1 $м^2$ встановлених колекторів	200-500	500-1000
Системи опалення і гарячого водопостачання	На 1 $м^2$ встановлених колекторів	600-1200	1500-2000

2.3 Коефіцієнт корисної дії

Теплова ефективність геліо колектору (ККД) — це відношення корисного переданого тепла колектору до повної отриманої енергії сонячного випромінювання. Це відношення різне для різних типів геліоколекторів і залежить від інтенсивності сонячного випромінювання, від теплових та оптичних втрат, температури зовнішнього середовища і так далі. Параметри теплотехнічної досконалості плоских геліо колекторів практично досягли крайнього рівня і мають відносно невелику різницю для різних виробників. Більшість плоских геліоколекторів, що є сьогодні на українському ринку, характеризуються приблизно однаковим ККД, близьким до 80 %. Вакуумні трубчасті колектори досі знаходяться у процесі пошуку і відробітку ефективної конструкції, тому вибір серед них оптимального представника дещо ускладнений.

ККД сонячних колекторів виражають формулою:

$$\eta = \eta_0 \ - \ K_k \ \cdot (T_T - T_B)/I_k \qquad (2.3)$$

де η_0 – ефективний оптичний ККД установки;

I_k – інтенсивність потоку сонячної радіації, що поступає на поверхню сонячного колектору, Вт/м^2;

K_k – коефіцієнт теплових втрат геліоколектора;

T_T – температура теплоносія на вході сонячний колектор, К;

T_B – температура зовнішнього повітря, К.

Данна формула визначає миттєве значення ККД геліоколектора, яке може бути як середнє значення для даної години доби. Так як, інтенсивність потоку сонячної радіації протягом дня є змінною - від нуля перед сходом та після заходу сонця до максимума в безхмарний полудень, з цим сильно змінюється і ККД геліосистеми. Звідси випливає, що середньоденне значення ККД буде значно нижчим, ніж його максимальне значення у полудні.

Сучасні виробники колекторів вимірюють ККД в дослідженні для кожної конкретної конструкції обладнання. За результатами експерименту, за допомогою наведеної вище формули вираховується кореляція, що враховує не лінійність ККД.

РОЗДІЛ 3

ОГЛЯД РІШЕНЬ ЩО ОПТИМІЗУЮТЬ РОБОТУ СОНЯЧНИХ КОЛЕКТОРІВ

3.1 Автоматизоване відстеження положення сонячного колектора

Видобуток енергії сонячно-теплових систем, у яких використовуються плоскі колектори, можна покращити шляхом відстеження(тракінгу).

Очевидно, що тепловіддача колектора залежить від кількості сонячного випромінювання, що падає на сонячно-тепловий перетворювач. Ціль цього технічного рішення основується на тому, що поставлене завдання щодо збільшення ефективності одержання сонячного випромінювання й підвищення ККД системи досягається тим, що в розробленому методі автоматизованого тракінгу положення колектора сонячної енергії, щоб площина геліоколектора була перпендикулярна до сонячної радіації.

В основному очікуються два процеси: перетворення УФ та видимого (ВІЗ) випромінювання (що сильно впливає на поглинання пластини поглинача) і теплова конвекція, яка характеризується тепловтратами, отже, тепловим випромінюванням пластини поглинача та герметизацією колектора. У той час як теплоперетворення в основному підтримується прямим випромінюванням, конвекція використовує інфрачервону частину спектру сонячної радіації, таким чином, як пряме, так і розсіяне випромінювання. Враховуючи це, на прикладі дослідження було обрано три дні з різним профілем сонячної радіації міста Харків: похмурий день (30 червня 2020 р., переважно на користь розсіяного випромінювання), сонячний день (02 липня 2020 р., де пряма радіація становить понад 80%) та змішаний день (4 липня 2020 р.). Метеорологічні дані представлені на рис. 3.1. - 3.3.

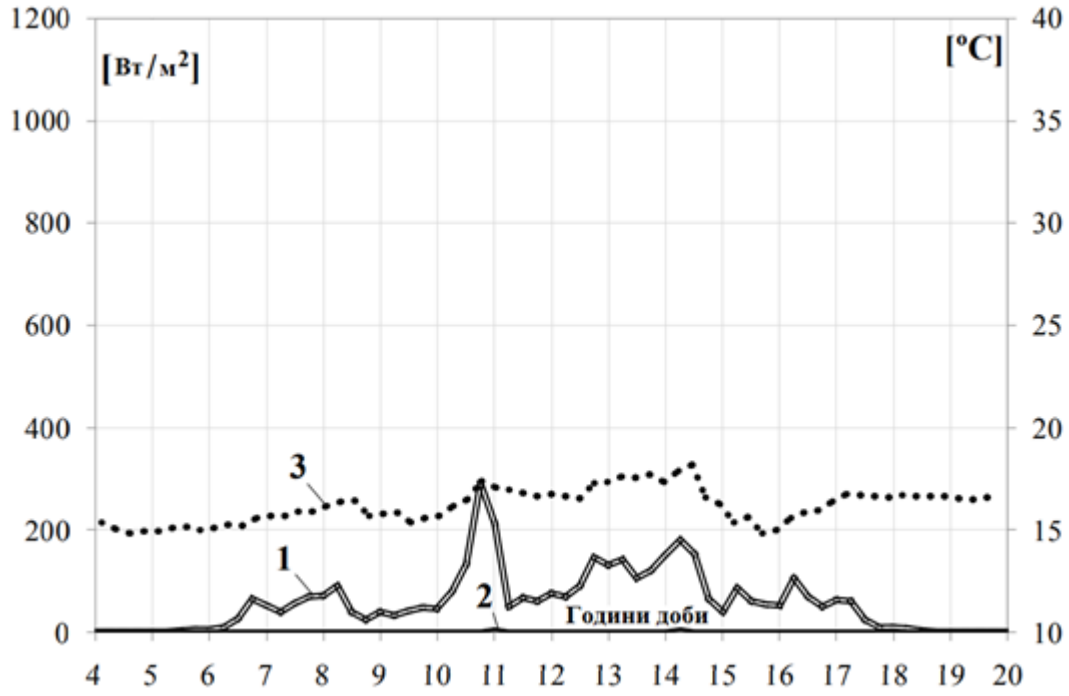


Рис 3.1. Глобальна радіація (1), пряме випромінювання (2) та температура зовнішнього повітря (3), для хмарного дня

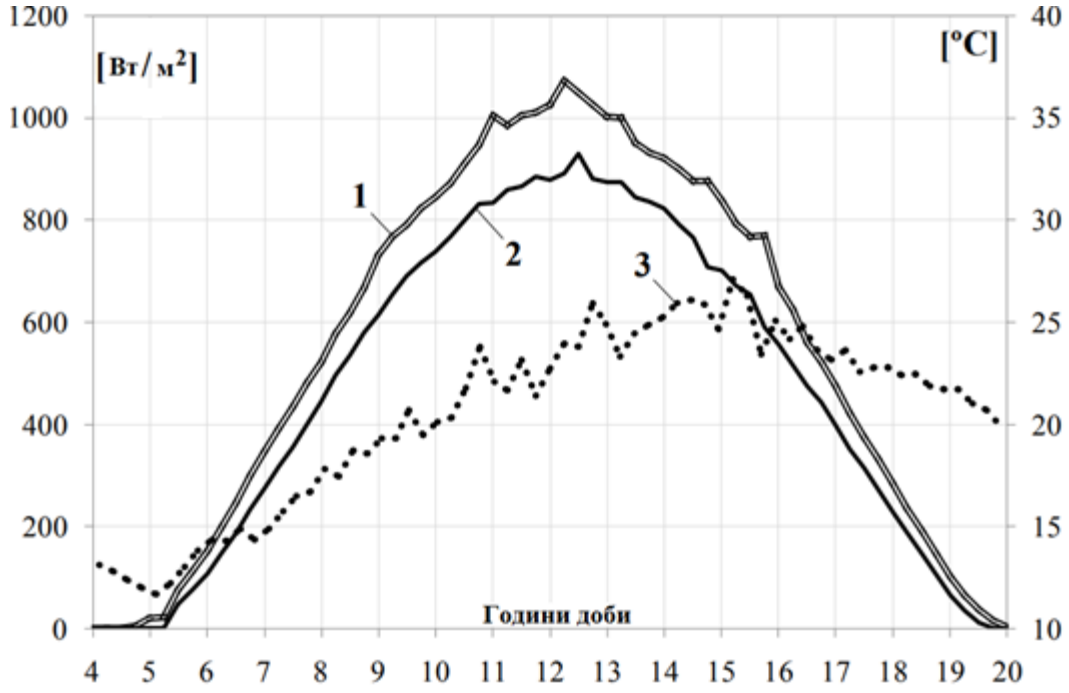


Рис 3.2. Глобальна радіація (1), пряме випромінювання (2) та температура зовнішнього повітря (3), для сонячного дня

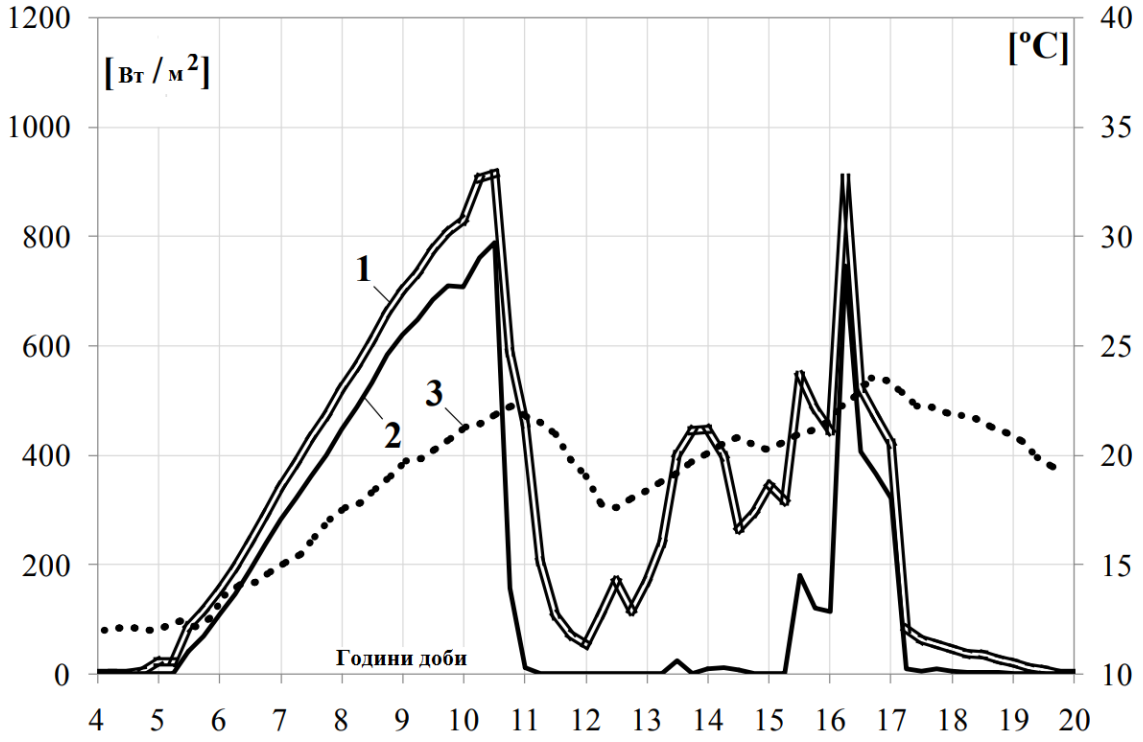


Рис 3.2. Глобальна радіація (1), пряме випромінювання (2) та температура зовнішнього повітря (3), для змішаного дня

Як показують дані, протягом похмурого дня було доступне лише розсіяне випромінювання (в основному для підтримки конвекції теплової енергії), тоді як у змішаний день сонячний період у шість годин чергувався з чотирма годинами хмарності.

Перетворення сонячної теплової енергії на зафіксованих і колекторах з тракінгом було додатково досліджено з точки зору теплової потужності, так як на рис 3.1 - 3.3 представлено загальну кількість радіації, отриману колектором (розраховано з використанням значень, зареєстрованих метеостанцією, і з урахуванням кутів нахилу колекторів). У кожен день, вимірювання проводилися з 7:30 ранку та до 17:00. Використовуючи ці дані, була розрахована та були побудовані графіки (рис. 3.4. - 3.6) ефективності перетворення енергії як відношення між вихідною тепловою потужністю стаціонарного ($P_{фікс}$) або відстежуваного ($P_{тр}$) колектора і

вхідною потужністю глобальної сонячної радіації на стаціонарному ($G_{фікс}$), відповідно на відстежуваному ($G_{тр}$) колектора. Загальна теплова енергія, вироблена одиницею площі за ці дні, розрахована з урахуванням часу роботи та представлена у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1. Загальна теплова енергія, вироблена одиницею площі під час дослідження

	Хмарний день	Змішаний день	Сонячний день
Загальна вироблена енергія – при тракінгу (Вт/м^2)	87	1245	3351
Загальна вироблена енергія – фіксоване положення (Вт/м^2)	24	829	2644

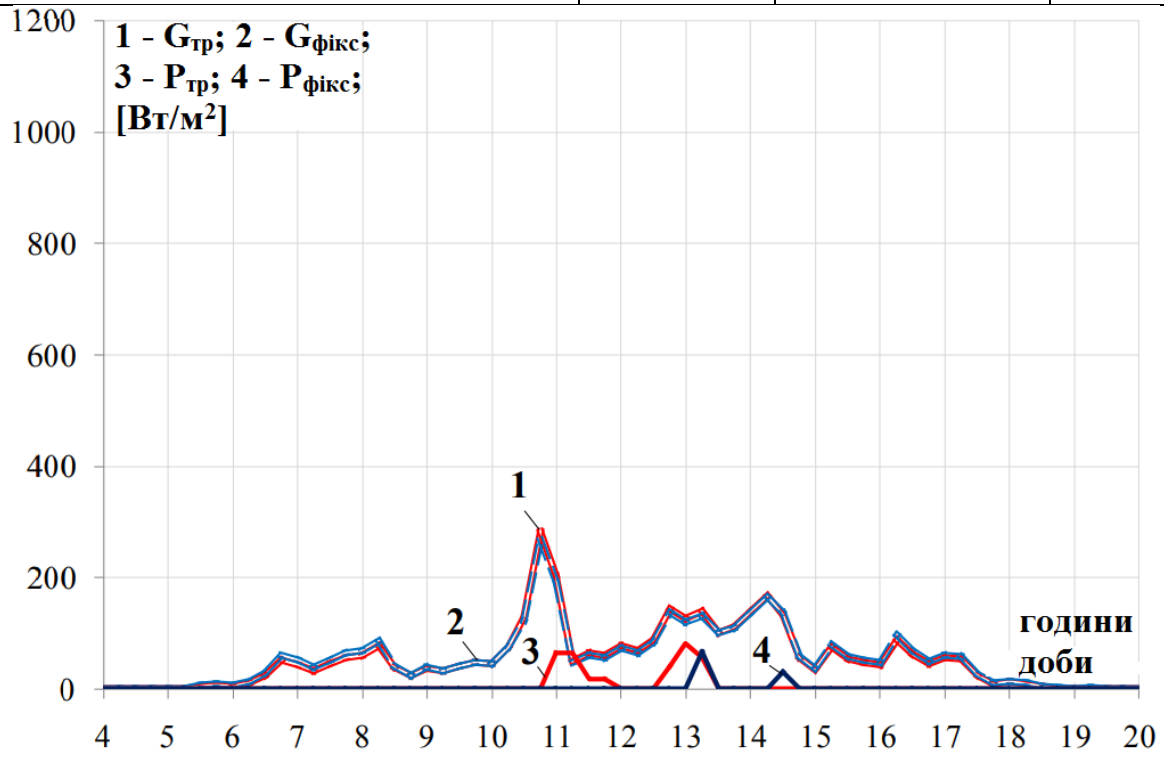


Рис. 3.4. Глобальна падаюча радіація та виході теплової енергії в хмарний день.

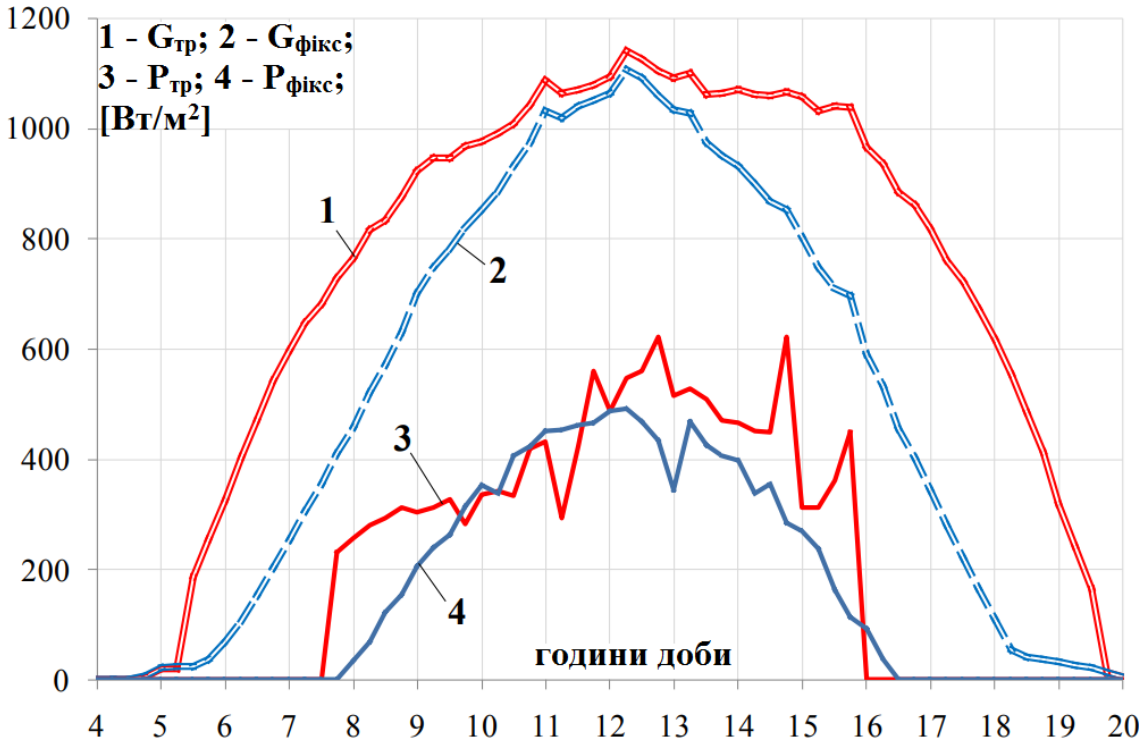


Рис. 3.5. Глобальна падаюча радіація та виході теплової енергії в сонячний день.

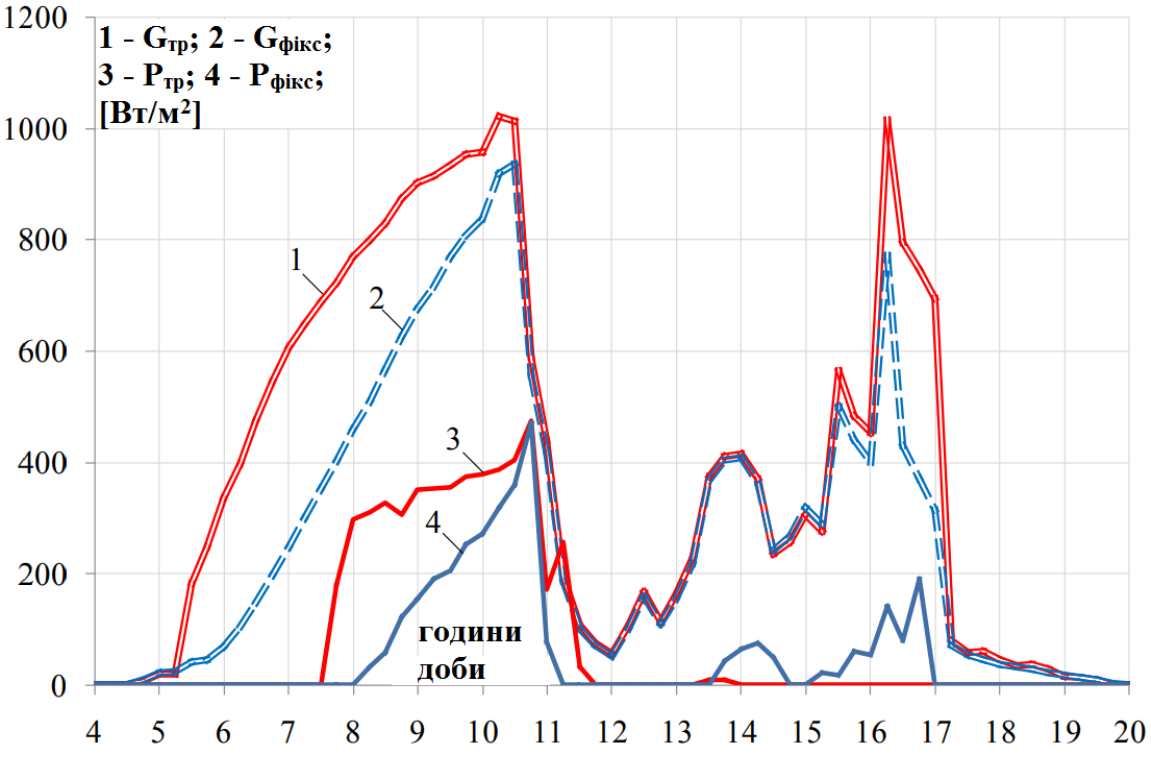


Рис. 3.5. Глобальна падаюча радіація та виході теплової енергії в змішаний день.

На основі даних, отриманих при дослідженні в обрані дні, можна зробити кілька висновків, які є загальними для всього періоду моніторингу (01 червня – 31 липня 2020 р.):

- вироблена теплова потужність (як і очікувалося) залежить від впливу вхідної (глобальної) радіації;

- відстеження значно покращує вироблення теплової енергії на 26% у сонячний день, на 50% у змішаний день і на 262% у похмурий день (табл. 3.1.). Хоча спостерігається великий приріст енергії використовуючи колектор з тракером в похмурий день, враховуючи фактичні значення теплової енергії, можна вважати, що відстеження (тракінг) у даному випадку не рекомендується, оскільки енергія, витрачена на обертання колектора, становить близько 30 Вт·год. З іншого боку, у змішані дні, особливо в сонячні дні, приріст теплової енергії є значним, і пряме відстеження цілком виправдано в умовах експерименту;

- середня ефективність перетворення сонячної енергії в теплову протягом сонячних днів становить близько 40%, і варто згадати ефект «вирівнювання», яке викликає процес відстеження (тобто більш постійну ефективність перетворення енергії), що є перевагою в точних проектування системи. Такий же ефект спостерігається і в змішані дні, з дещо нижчим значенням 39%.

3.2 Метод запобігання режимової стагнації.

Стагнація описує стан гелісистеми, в якому (з будь-якої причини) потік у колекторній петлі переривається, і сонячне випромінювання поглинається (або може бути) далі поглинатися колектором, у застої. Більш загально, описують умови стагнації як «будь-яку ситуацію, за якої сонячний тепловий колектор не може належним чином відвести поглинене сонячне тепло до свого первинного теплоносія, що призводить до того, що сонячний тепловий колектор та/або його

компоненти (включаючи теплоносій, що міститься в його протокових каналах) підвищує температуру вище бажаного максимального рівня». Подібні умови можуть виникати під час постійного сонячного випромінювання, коли потік теплоносія переривається через технічні дефекти, такі як збої в електромережі, несправності компонентів (наприклад, циркуляційний насос, процес обслуговування або ремонт системи) і втручання насоса-контролера через обмеження ємності-акумулятора, або будь-яка інша причина (тимчасової) відсутності потреби в теплі. Стагнація має вирішальне значення для довготривалої, надійної роботи сонячних теплових систем з незначним рівнем обслуговування. Особливо, коли мова йде про промислові застосування, поведінка обладнання є важливою для виробників і операторів у періоди, коли встановлена сонячна теплова потужність не може бути повністю використана. Це може статися через технічні дефекти (наприклад, несправність контурних насосів геліосистеми), відсутність радіатора (наприклад, у вихідні або свята або час технічного обслуговування та ремонту) або відключення електроенергії. Цей робочий стан створює значні напруги для всіх компонентів колекторного ланцюга, які значно відрізняються від тих, що виникають у нормальних робочих умовах. При промислових процесах, значна частка сонячних колекторів, які відповідають вищесказаним критичним умовам, можуть будуть пошкоджені при надто високих температурах. Загалом, важлива технологічна проблема для великих сонячних теплових систем у промисловому застосуванні полягає в тому, що досягаються умови застійного режиму геліосистеми моменти, коли тепло колекторної системи не може зберігатися. У цьому відношенні ефективні заходи для подолання перегріву та застою є важливим аспектом для мінімізації експлуатаційних витрат (технічне обслуговування), збільшення терміну служби сонячної теплової системи та її компонентів, а також для забезпечення гарантій виробництва.

Стагнація описує стан сонячної теплової системи, при якому потік у колекторній петлі переривається. Якщо в цей час сонячне випромінювання додатково поглинається колектором, температура сонячного теплового колектора і теплоносія підвищується. Якщо не буде вжито жодних заходів і не відбудеться пошкодження у контурі, що призведе до витоку тощо, температура буде підвищуватися (для умов постійної стагнації), доки теплові втрати сонячного теплового колектора не стануть рівними поглиненому сонячному випромінюванню. Максимальна досягнута температура називається температурою застою $T_{стаг}$. На рис. 3.6. як приклад показано зміну температури колектора (або колекторного контуру) з часом.

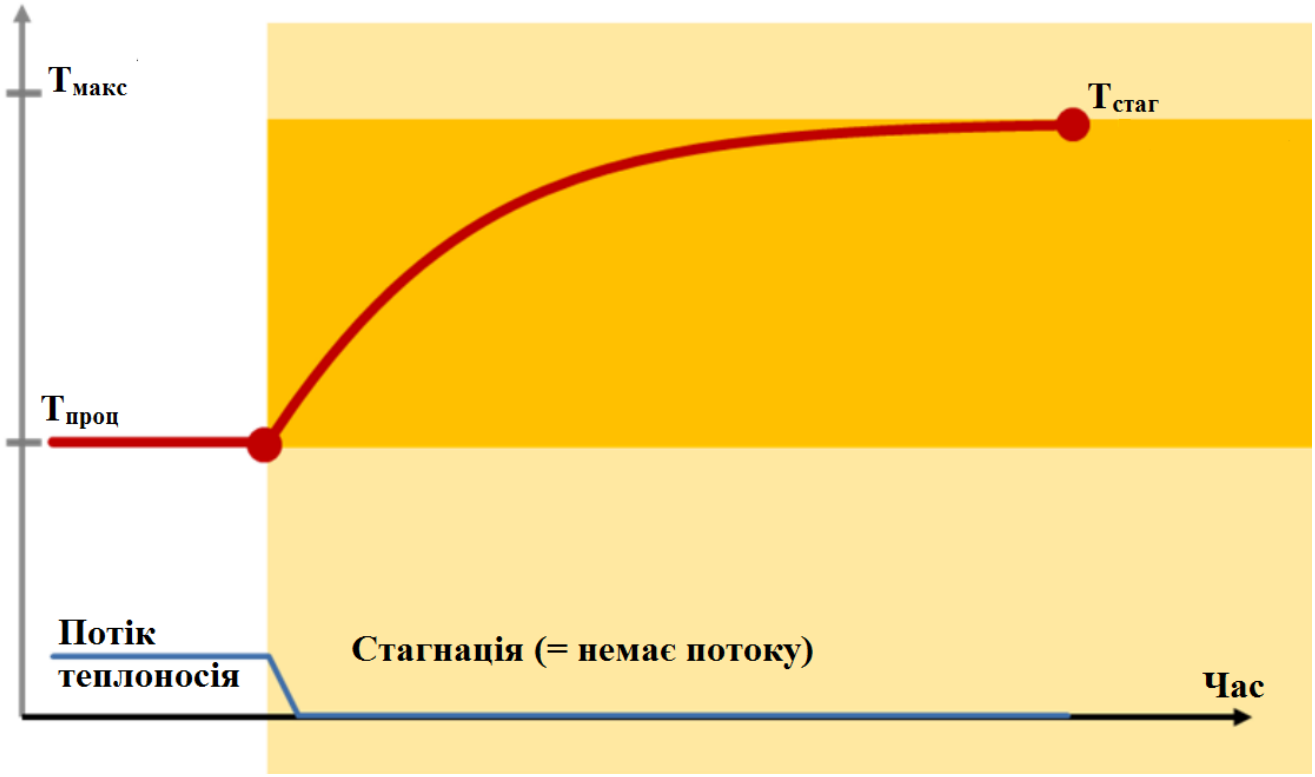


Рис. 3.6. Графік температури внутрішнього теплоносія колектора при $T_{стаг} < T_{макс}$

Для деяких колекторів температура застою є лише теоретичним значенням, оскільки її неможливо перевірити, оскільки колектор буде зруйнований до

досягнення температури застою. У цьому випадку розрахункова температура нижча за температуру застою (і, природно, знаходиться між робочою температурою, обраною для певного застосування, і теоретичною температурою застою). Це вірно для багатьох колекторів, ситуація показана на рис 3.7.

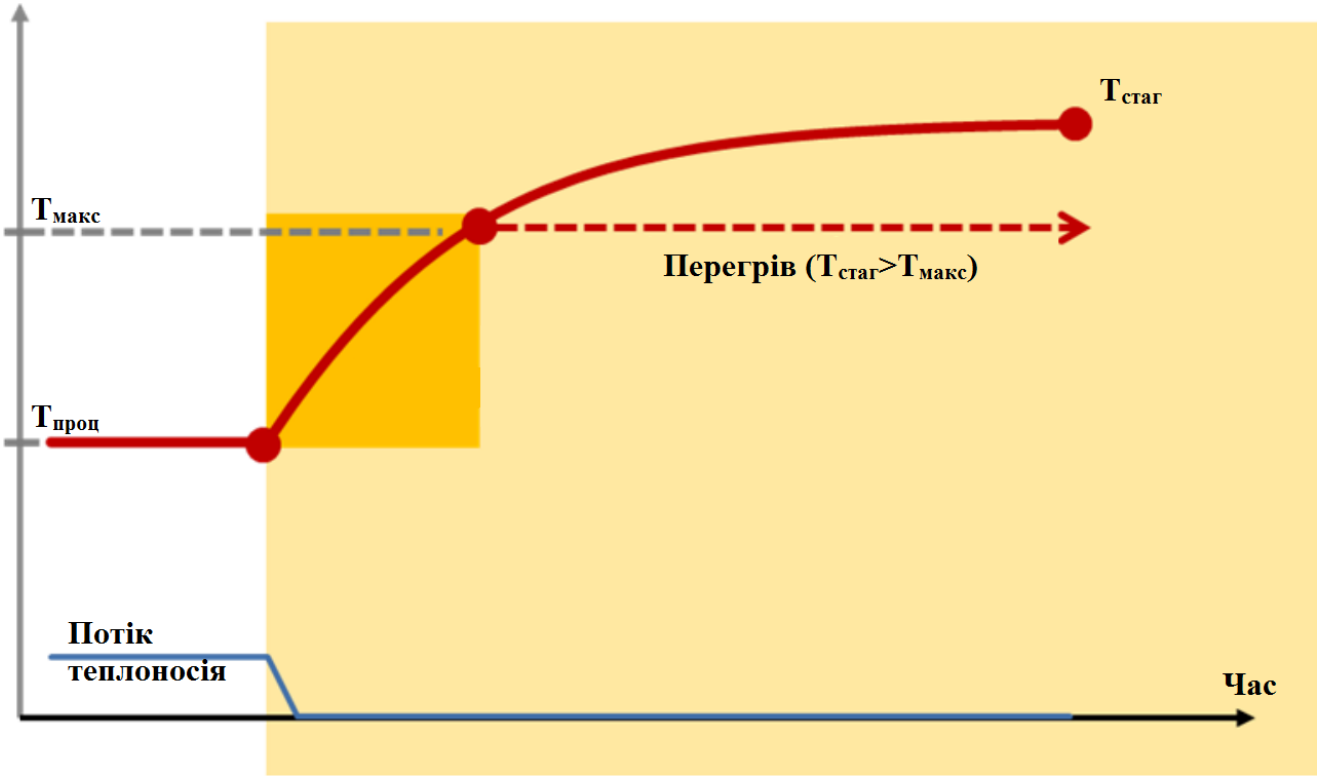


Рис 3.7. Графік температури внутрішнього теплоносія колектора при перегріві $T_{стаг} > T_{макс}$

Під час процесу перегріву, залежно від досягнутої розрахункової температури, впливають на трубки абсорбера та всі системи насосів та охолодження. Кожен компонент по-різному діє на тепло відповідно до його номінальної температури, зазначеної виробником. Загалом, компоненти, які можуть постраждати, це:

- Насосна система, яка має максимальну експлуатаційну температуру використання. У разі перегріву гумові ущільнювачі або інші неметалеві компоненти можуть бути зруйновані.

- Абсорбуюче покриття витримує до певної температури, вище цієї температури покриття починає деформуватися.
- Для колекторів з високим концентраційним фактором, можливий перегрів труби до такої міри, що виникає стійка деформація.
- Термоолія, яка має граничні показники певної температури залежно від використовуваного масла. Термоолія втратить свою ефективність.
- Гумові ущільнювачі в системі трубопроводів мають номінальну температуру. При перевищенні цих температур ущільнення руйнуються, і в системі можуть з’явитися витоки.

Важливо знати, що якщо не відбуваються витоки високотемпературних рідин, зазвичай немає небезпеки для людей. Проте витік різних рідин може мати негативний вплив на навколишнє середовище через використання масла в трубках абсорбера та небезпеки займання. Ці елементи, швидше за все, не зруйнують всю колекторну систему, але в разі руйнування їх досить легко замінити. Звичайно, оскільки кожен компонент має різну номінальну температуру, важливо підтримувати та контролювати ці температури в системі.

Процеси, що відбуваються в простому сонячному колекторі під час стагнації геліосистеми.

Фаза 1. Розширення рідини. На прикладі, стагнація починається з вимкнення геліоконтуру насоса (Рис 3.8.).

При зупинці насоса температура в колекторі зростає, доки не буде досягнуто температури кипіння теплоносія. Тиск при цьому зросте трохи, приблизно на 1 бар.

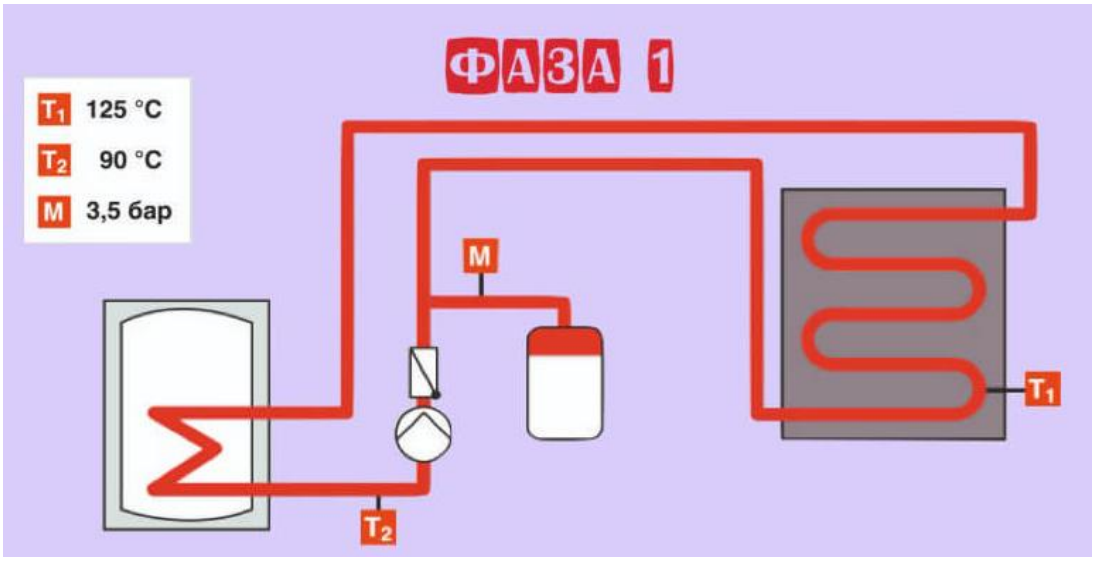


Рис 3.8. Фаза 1. Розширення рідини.

Фаза 2. Випаровування теплоносія. Приблизно через 10 хвилин колектор досягає температури кипіння і починається випаровування теплоносій (Рис 3.9.).

Велика кількість рідини витісняється в розширювальний бачок через формування в колекторі насиченої пари. В результаті тиск у системі починає зростати швидше. Рідина з близькою температурою до температури кипіння може дійти до компонентів геліоконтуру, піддаючи їх температурному стресу.

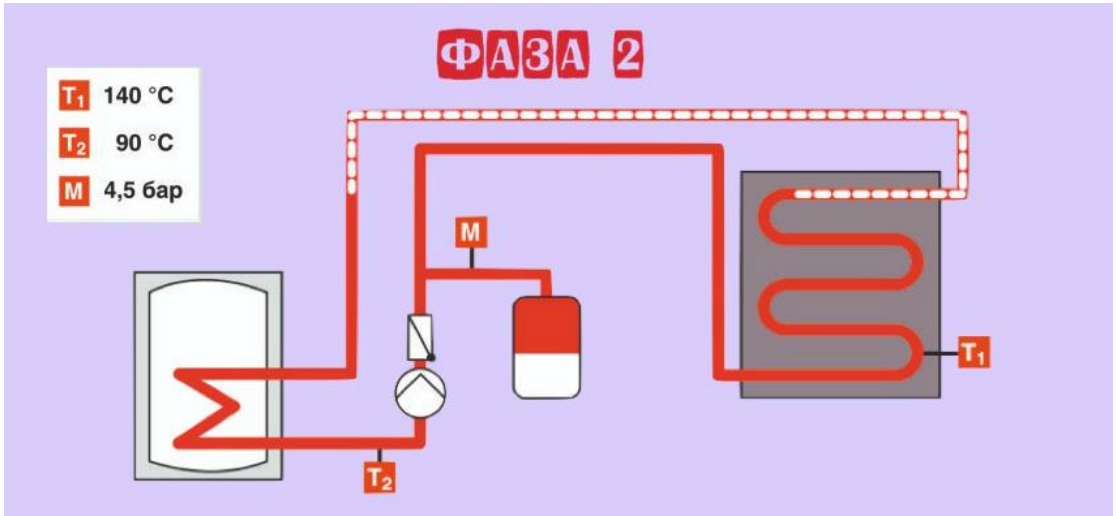


Рис 3.9. Фаза 2. Випаровування теплоносія.

Фаза 3. Кипіння в колекторі. Протягом наступних 30 хвилин відбувається пароутворення (Рис 3.10.).

Теплоносій, що залишився в колекторі починає випаровування і поширює енергію у вигляді пари по системі.

При цьому можливе нагрівання деяких компонентів системи до температури кипіння при конденсації теплоносія.

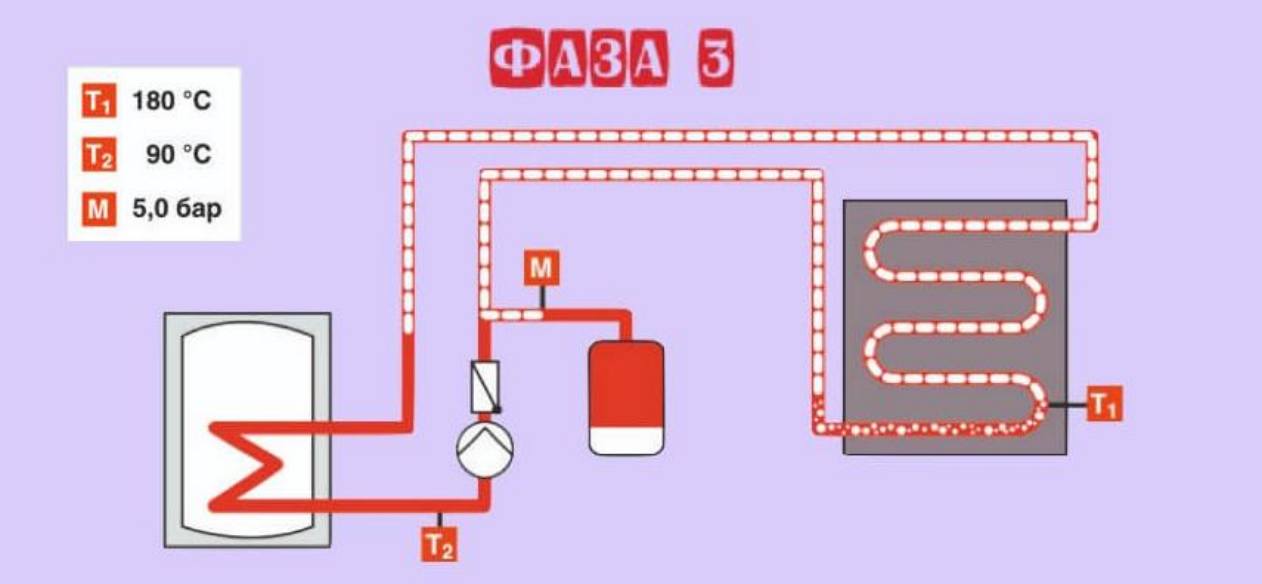


Рис 3.10. Фаза 3. Кипіння в колекторі.

Фаза 4. Перегрів. До припинення інсоляції колектор має температуру стагнації. (Рис 3.11.).

Теплоносій продовжує випаровуватися, і в колекторі утворюється перегріта пара. При цьому незначно зменшується тиск, а колектор стає практично сухим.

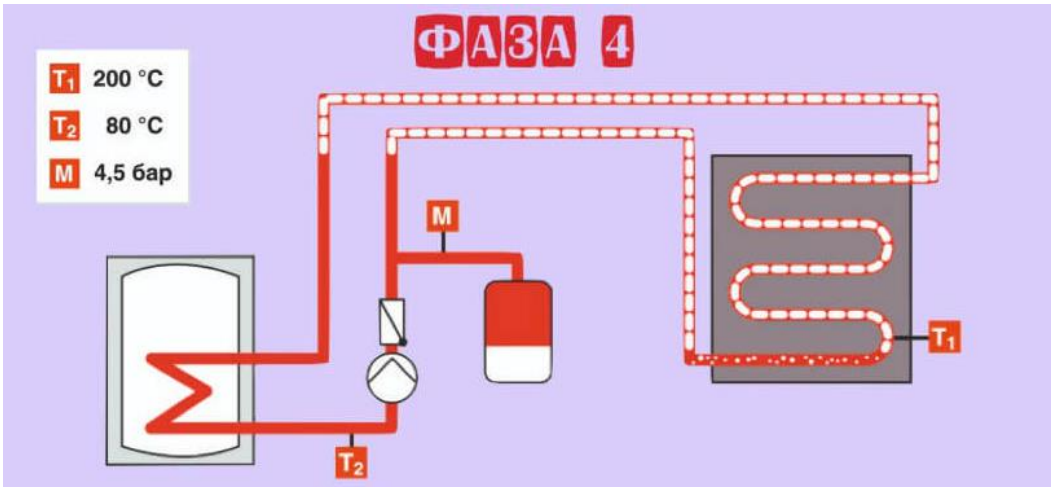


Рис 3.11. Фаза 4. Перегрів системи.

Фаза 5. Заповнення теплоносія (Рис 3.12.). Зі зменшенням інсоляції відбувається зменшення температури та конденсація пари. При зменшенні сонячної інсоляції, температура в колекторі та тиск у геліосистемі знижується. Пароподібний теплоносій конденсується і сонячні колектори знову заповнюються рідким теплоносієм. Пароутворення у геліосистемі може бути незначним, внаслідок цього зменшується негативний вплив стагнації на компоненти сонячної системи, особливо це стосується теплоносія.

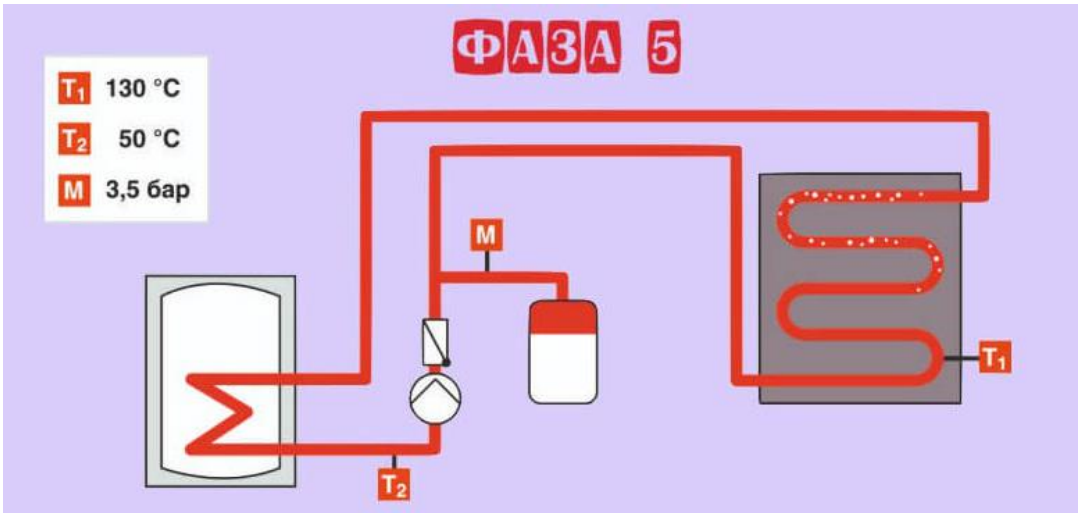


Рис 3.12. Фаза 5. Заповнення теплоносія.

Здатність до спорожнення сонячних колекторів. У різних геліоколекторних полів і окремо взятих колекторів ця здатність різна і залежить від багатьох факторів, таких як прокладання магістралі, об'єм розширювального бака, кут нахилу колекторів і тип сонячного колектора. У плоских сонячних колекторів, як правило, здатність до спорожнення вище, ніж у трубчастих вакуумних колекторів. Тому дуже важливо на стадії проектування та монтажу врахувати фактори, які сприяли б поліпшенню здатності до випорожнення геліополя. Якщо все ж таки неможливо досягти максимальної здатності до спорожнення сонячних колекторів, слід застосовувати ряд заходів, які мінімізують негативний вплив під час стагнації геліосистеми, або перешкоджатимуть її виникненню. Якщо все ж таки неможливо досягти максимальної здатності до спорожнення сонячних колекторів, слід застосовувати ряд заходів, які мінімізують негативний вплив під час стагнації геліосистеми, або перешкоджатимуть її виникненню.

Для вирішення даної задачі застосовують попередній бак або теплообмінник охолоджувача (рис. 3.13.).

Видалення енергії від колекторів через пару під час стагнації. Цей варіант знижує термічне навантаження лише на компоненти системи (на теплоносій вплив не знижується) вже під час стагнації геліосистеми. При слабкій здатності до спорожнення в колекторах, пара може досягти деяких компонентів системи і вивести їх з ладу. Особливо можуть постраждати циркуляційний насос та мембрана розширювального бака. Для запобігання попаданню високих температур на ці компоненти використовують спеціальні проміжні теплообмінники та проміжні баки.

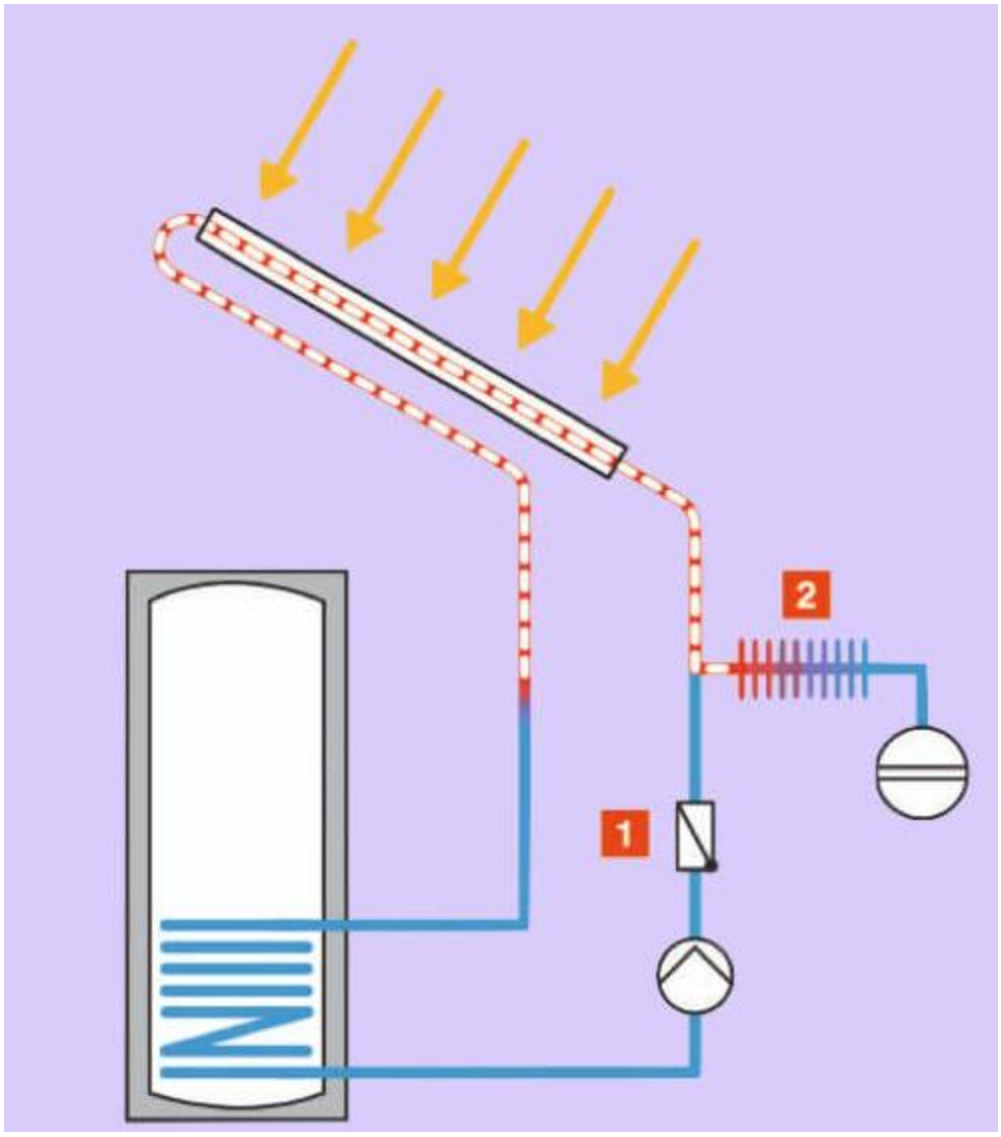


Рис 3.13. Схема реалізації захисту розширювального бака.

3.3 Технологія захисту від перегріву ThermProtect

Вітчизняний виробник геліоколекторів Viessmann пропонує установи, які самостійно регулюють граничну робочу температуру і здатні надійно захищати систему від перегрівання: вакуумні колектори Vitosol 300-T тип SP3B і нові плоскі варіанти Vitosol 100-FM та Vitosol 200-FM з абсорбером ThermProtect, що може змінювати свої фізичні характеристики в залежності від робочої температури.

Вперше винайдено і запатентовано плоский геліоколектор, що при досягненні деякої робочої температури припиняє перетворення енергії сонячного випромінювання на теплову (рис 3.14).

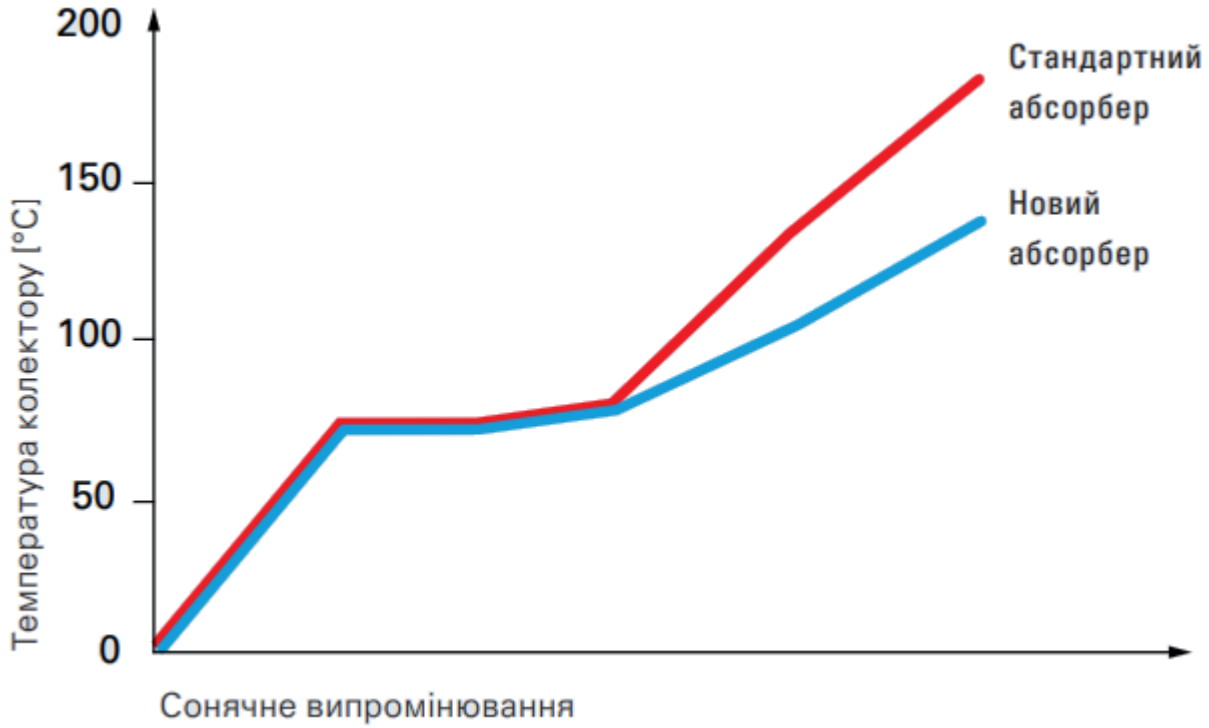


Рис 3.14. Графік робочої температури нового абсорберу в порівнянні зі старим

Інноваційне селективне покриття поглинача колекторів Vitosol 100-FM та Vitosol 200-FM базується на принципі внутрішніх шарів, що переключаються. В залежності від температури геліоколектору вони змінюють структуру своїх кристалів, що впливає на коефіцієнт поглинання і віддзеркалювання поглинача. При температурі абсорберу більше +75°C починає змінюватись структура кристалів шарів селективного покриття, через що віддзеркалювання сонячних променів від абсорберу багаторазово збільшується. Завдяки цьому при постійному збільшенні температури зменшуються потужність установки і температура колектору в стані стагнації. Саме це гарантує не закипання

теплоносія в системі. При зменшенні температури геліоколектору нижче +75°С структура кристалів повертається в її початкове положення. В робочому стані поглинач колектору абсорбує і перетворює на теплову енергію більше ніж 95% сонячної енергії, що попадає на нього. Це пояснює чому потужність нових колекторів буде більшою ніж уже існуючих, завдяки тому, що теплоносій в них не буде закипати і системи з такими колекторами не будуть переходити в стан стагнації. Кількість змін структури кристалів шарів селективного покриття не обмежена, що гарантує довготривалий термін експлуатації сонячних колекторів.

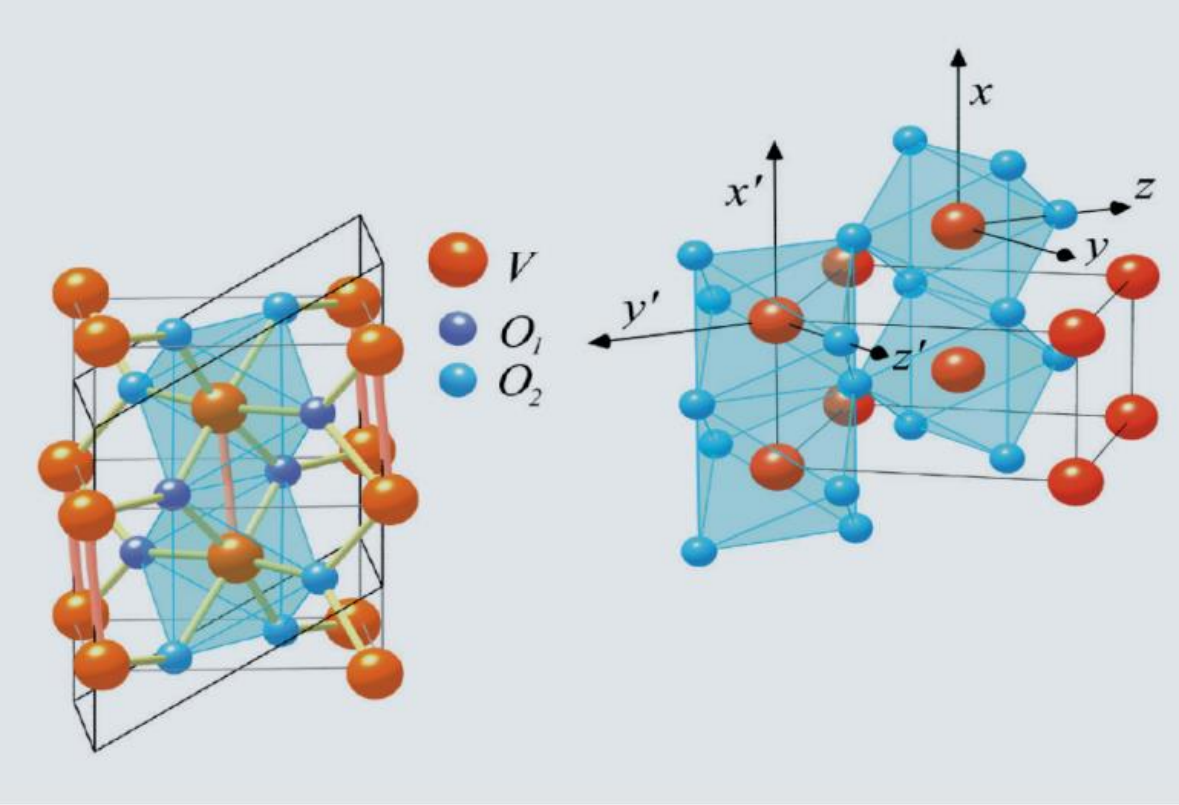


Рис. 3.15. Зміна оптичних властивостей абсорберу.

Новий абсорбер складається з багатьох шарів. Один з цих шарів - оксид ванадію (VO_2).

При температурах вище +75°С оксид ванадію починає змінювати свої оптичні властивості. Особливо потужно цей ефект проявляється при температурах абсорберу від +100°С.

РОЗДІЛ 4

АНАЛІЗ ВАРІАНТІВ ОПТИМАЛЬНОГО РОЗТАШУВАННЯ СОНЯЧНОГО БУДИНКУ

4.1 Визначення сонячного будинку

Сонячний будинок є комплексом чисто архітектурних інженерних рішень, вкладених у максимальне затримання сонячної енергії всередині приміщення. Сонячний будинок також характеризується рядом інженерними рішень, наприклад це вже пріоритетне південне скління будинку, що призводить до збільшення потоку сонячної енергії, що надходить у приміщення. Пристосування до південному фасаду будівлі теплиці, яка повітряно пов'язана з житловими приміщеннями, для забезпечення вільної циркуляції нагрітого повітря до будівлі. Наступним інженерним рішенням стало запасання теплової енергії в масиві архітектурних конструкцій. Збільшення масиву стіни (або підлоги), що освітлюється і нагрівається сонцем. Зрозумілим є факт, що велика маса, наприклад, бетонної стіни, зможе накопичити більшу кількість теплової енергії, надлишок якої зможе віддати до приміщення вночі. Стіна Тромба (названа так на честь її винахідника) – масивна кам'яна (бетон, цегла) фасадна стіна, звернена на південь, засклена та забарвлена в селективний, поглинання сонячних променів, чорний колір. За сонячний день така стіна нагрівається від сонячних променів, а у нічний час – поступово віддає накопичене тепло усередину будинку. Часто постачається в нижній та верхній частини повітропроводами. Дані повітроводи служать для надходження прохолодного повітря з приміщення (розташовані в нижній частині стіни) в простір між стіною і склом, і теплого повітря назад у приміщення (верхні канали).

Пасивні сонячні будівлі зазвичай мають вікна (скління) на південній стороні будівлі, щоб поглинати сонячну енергію для обігріву будівлі взимку. Для того, щоб залишатися прохолодним влітку, пасивні сонячні будинки покладаються на систему затінення (або звис), щоб зберегти прохолоду в будівлі. Просто будуючи таким чином, будинок може зменшити витрати на опалення та охолодження на 85% (рис.4.1.).

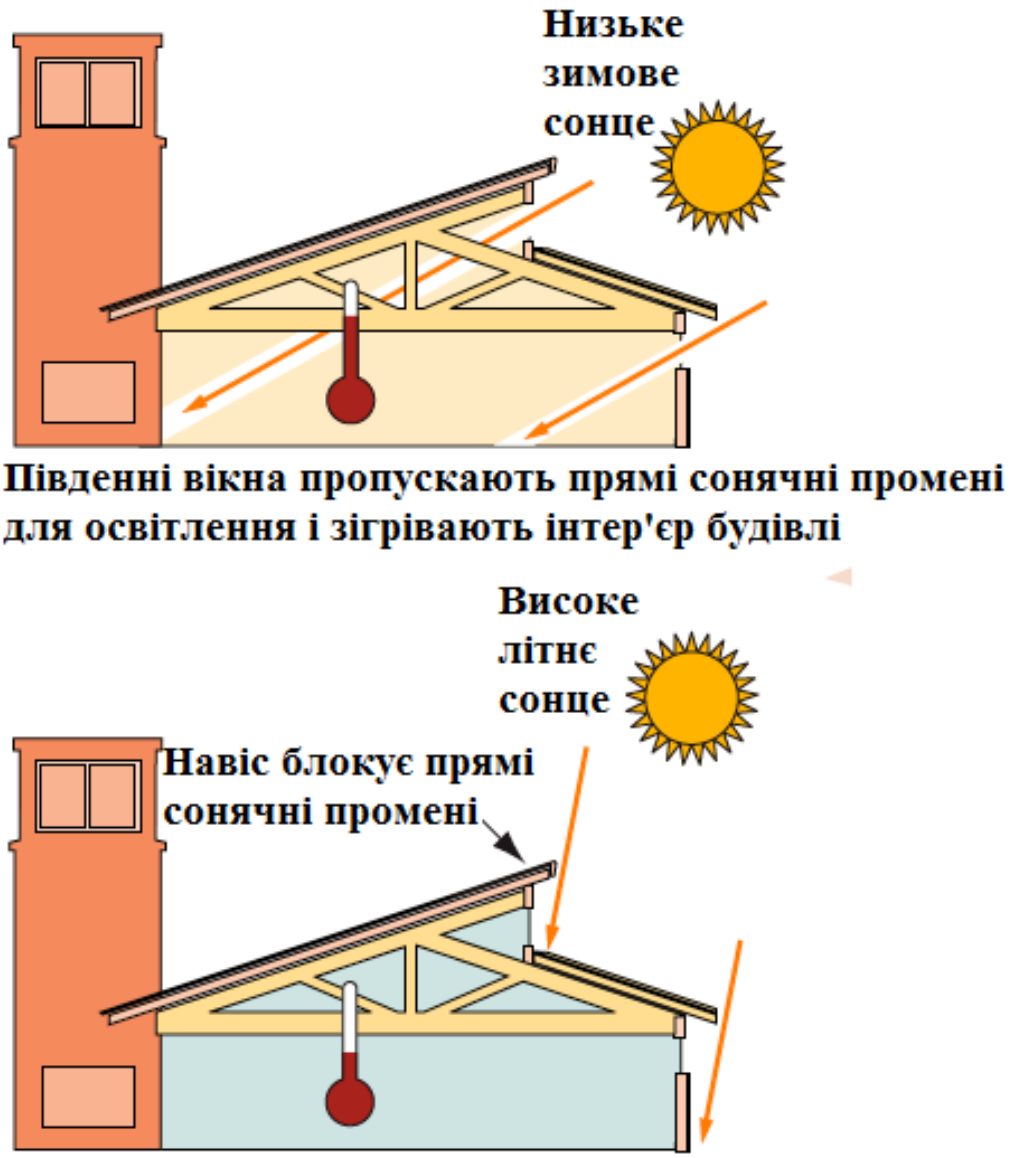


Рис. 4.1. Сезонна ефективність конструкції сонячного будинку

На рис. 4.1. показано, як сонце взимку нижче, а влітку набагато вище. Протягом дня низьке зимове сонце може світити крізь вікна, щоб дозволити тепловій енергії поглинати теплову масу будівлі. Хоча вікна дозволяють поглинати тепло в будівлю, їх тонка і прозора природа також дозволяє теплу виходити з будівлі. Щоб цього не відбувалося в холодному кліматі, рекомендується подвоїти склопакети (подвійне скло) або навіть потроїти. Для ізоляції вікон і збереження тепла в будівлі після заходу сонця можна також використовувати утеплене віконне покриття або товстий штор. Влітку, коли температура підвищується, пасивна сонячна будівля використовує свою теплову масу, щоб підтримувати прохолоду в будинку. Для того щоб це сталося, літнє сонце не допускає проникнення теплової маси будівлі. Траєкторія літнього сонця сприяє цьому процесу, будучи високо в літньому небі, тому потрібен відповідний звис, для затінення та прикриття вікон влітку, щоб сонячна теплова енергія блокувалася або уникала. Правильно сконструйований звіс запобігає поглинанню тепла та енергії в будинок влітку.

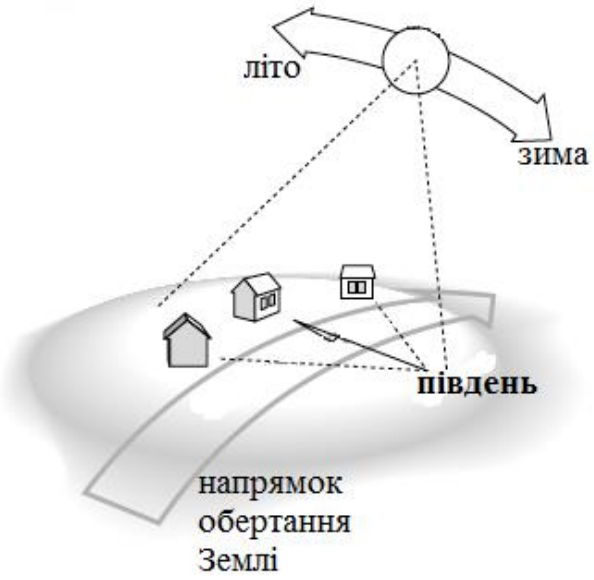


Рис. 4.2. Сезонна орієнтація Сонця

Оскільки сонце сходить на сході і заходить на заході, сторона будівлі, яка використовується для отримання сонячної енергії, повинна бути звернена на південь, щоб максимально використати потенційну енергію сонця. Якщо вісь будівлі розташована в напрямку схід-захід, а найдовша стіна звернена на південь, більша частина будівлі буде розташована для максимального поглинання сонячної енергії.

Вікна, що виходять на південь (південне сонячне скління) є життєве важливим компонентом для пасивного сонячного будинку. Оскільки південна сторона будівлі є тією стороною, яка потенційно буде отримувати сонячне світло протягом дня, більшість пасивних сонячних будівель має скління, яке домінує на південній стороні.

4.2 Визначення оптимального кута нахилу сонячного колектора залежно від тривалості роботи протягом року у районі міста Харків.

Одним з найголовніших критеріїв сонячного будинку є наявність геліо колекторів на крівлі конструкції для опалення та гарячого водопостачання. Для різних регіонів є різні оптимальні кути нахилу геліосистем, згідно цього було зроблено дослідження визначення оптимального кута для м. Харків. Рекомендований кут нахилу СК вимагає перевірки для конкретних умов сходу України. Виходячи з цього, на сьогоднішній день залишається актуальною розробка рекомендацій щодо визначення кута нахилу сонячного колектора та пов'язаної з ним кількості корисної теплової енергії. При визначенні оптимального кута нахилу СК критерієм вибору є максимум переданої споживачеві теплоти за певний проміжок часу. Досліджуваний об'єкт знаходиться у районі м. Харкова (49°58′ пн.ш. 36°15′ сх.д.). Маючи дані з прямого H_B і розсіяного H_D випромінювання, що падає на горизонтальну поверхню в залежності від широти місцевості, були визначені відповідні дані для широти (табл. 4.1).

Таблиця 4.1. Дані по прямому H_B та розсіяному H_D (Вт/м^2) випромінюванню на горизонтальну поверхню у безхмарний день для широти м. Харків

Місяць і схилення	H	Години доби до полудня						
		5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12
Січень	H_B				43.9	122.7	181.6	204.3
δ=-23.06º	H_D				30.9	47.2	55.0	57.5
Лютий	H_B			8.0	97.0	196.3	269.0	301.5
δ=-17.34º	H_D			14.7	42.9	56.5	63.5	66.1
Березень	H_B		5.4	110.9	244.5	360.4	440.3	474.8
δ=-7.88º	H_D		12.3	44.9	60.8	69.8	74.7	76.5
Квітень	H_B	11.1	131.4	285.0	429.7	546.0	621.9	650.1
δ=4.24º	H_D	16.7	47.5	63.6	73.2	79.0	82.2	83.3
Травень	H_B	121.1	275.5	432.9	573.3	682.7	751.2	773.1
δ=14.83º	H_D	45.6	62.1	72.6	79.3	83.5	85.7	86.4
Червень	H_B	193.9	349.0	502.3	637.8	743.0	809.2	830.9
δ=21.95º	H_D	54.2	66.9	75.4	81.1	84.7	86.7	87.3
Липень	H_B	187.3	340.6	493.6	630.1	737.8	807.5	833.5
δ=23.18º	H_D	53.3	66.2	74.8	80.5	84.2	86.3	87.0
Серпень	H_B	122.5	273.9	429.7	570.7	682.8	756.3	784.7
δ=18.22º	H_D	45.4	61.4	71.7	78.4	82.6	85.0	85.9
Вересень	H_B	39.1	175.5	329.6	470.9	582.7	654.0	678.3
δ=8.57º	H_D	28.5	52.5	66.1	74.4	79.5	82.3	83.1
Жовтень	H_B		67.6	203.5	335.3	439.0	502.0	517.6
δ=-2.87º	H_D		36.3	56.1	67.2	73.6	76.8	77.5
Листопад	H_B			76.2	186.4	277.6	332.2	342.4
δ=-14.19º	H_D			38.5	54.9	63.6	67.8	68.5
Грудень	H_B				75.8	155.2	207.3	220.6
δ=-21.69º	H_D				38.7	51.6	57.6	59.0
		Години після полудня						
		18-19	17-18	16-17	15-16	14-15	13-14	13-14

Величина питомого теплового потоку q' (Вт), що падає на 1 м^2 похилої поверхні сонячного колектора в кожну годину безхмарного дня, визначається за формулою:

$$q' = H_B \frac{\cos(\varphi - s) \cdot \cos(\delta) \cdot \cos(\omega) + \sin(\varphi - s) \cdot \sin(\delta)}{\cos(\varphi) \cdot \cos(\delta) \cdot \cos(\omega) + \sin(\varphi) \cdot \sin(\delta)} + H_D \qquad (4.1)$$

де φ — широта місцевості;

s — кут нахилу площини сонячного колектора до горизонту;

δ — схилення, величина якого для кожного місяця наведена в табл. 4.1;

ω - годинний кут, що дорівнює нулю опівдні для колекторів, орієнтованих на південь через кожну годину значення годинникового кута змінюється на 15 ° зі знаком плюс (від 12 годин до ранку) або мінус (від 12 годин до вечора);

Середньодобова кількість енергії, що падає на 1 м^2 сонячного колектора в кожному місяці, визначається підсумовуванням даних за кожну годину доби до полудня множенням отриманого значення на 2. Підсумовування значень у рядку дає кількість енергії, отримана до полудня, у Вт·год. Кількість сонячної енергії, що падає на колектор за місяць, визначається добутком середньодобового значення на кількість днів у місяці. Отримані дані відповідають падаючої енергії в безхмарний день. Слід зазначити, що кутовий коефіцієнт для кута годинника 97.5° негативний, тому в розрахунку він був прийнятий рівним нулю.

Залежність кількості теплоти, переданої споживачеві за місяцями, залежно від кута нахилу колектора для теплої половини року, наводиться у табл. 4.2. З наведених даних за сумарною кількістю теплоти за півроку видно, що максимальна кількість теплоти відповідає куту нахилу 25°.

Таблиця 4.2. Енергетичні характеристики сонячних колекторів в залежності від кута нахилу в теплу половину року.

Кут нахилу колектора, *s*, град	Місяць	Середньодобова кількість теплоти, q', Вт·год/м^2	Кількість теплоти, що падає за місяць q'$_{міс}$, Вт·год/м^2
15º	Квітень	7179.8	215.4
	Травень	7946	246.33
	Червень	8094.38	242.83
	Липень	7730.36	239.64
	Серпень	7077.91	219.42
	Вересень	6367.77	191.63
20º	Квітень	7312.9	219.39
	Травень	7975.8	249.25
	Червень	8082.27	242.47
	Липень	7700.20	238.71
	Серпень	7169.31	222.25
	Вересень	6548.30	197.53
25º	Квітень	7400.81	222.02
	Травень	7954.95	246.6
	Червень	8081.94	240.57
	Липень	7621.82	236.28
	Серпень	7215.86	223.69
	Вересень	6758.69	202.76
30°	Квітень	7442.87	223.29
	Травень	7883.99	244.40
	Червень	7904.85	237.15
	Липень	7495.82	232.37
	Серпень	7217.23	223.73
	Вересень	6889.64	206.69

В результаті проведених розрахунків (табл. 4.3) було визначено, що оптимальний кут нахилу при цілорічній експлуатації сонячної установки, що відповідає максимуму кількості переданого теплоносія тепла, лежить у діапазоні 37-40°.

Таблиця 4.3. Енергетичні характеристики сонячних колекторів в залежності від кута нахилу протягом всього року.

Кут нахилу колектора, *s*, град	Місяць	Кількість теплоти, падаюче за місяць, $q`_{міс}$, кВт·год/м^2	Сумарна кількість теплоти за рік, $q`_{год}$, кВт·год/м^2
30^o	1	122.02	2347.3
	2	156.08	
	3	213.27	
	10	195.39	
	11	153.72	
	12	129.07	
35^o	1	129.21	2379.3
	2	164.15	
	3	218.28	
	4	223.16	
	5	242.64	
	6	235.24	
	7	229.86	
	8	223.92	
	9	209.27	
	10	203.06	
	11	162.65	
	12	137.82	
40^o	1	135.54	2396
	2	170.34	
	3	221.90	
	4	221.65	
	5	237.40	
	6	228.85	
	7	223.10	
	8	221.17	
	9	210.52	
	10	209.37	
	11	170.48	
	12	145.68	

РОЗДІЛ 5

ОСНОВИ РОЗРАХУНКУ СИСТЕМИ СОНЯЧНОГО НАГРІВУ ВОДИ ДЛЯ ОПАЛЕННЯ ТА ГВП ПРИВАТНОГО БУДИНКУ

5.1. Загальне положення. Початкові умови розрахунку.

Для ефективної роботи геліосистеми, треба виконати правильний розрахунок і вибрати необхідне обладнання. Кількість сонячної енергії, яка має бути абсорбована та перетворена для нагрівання води безпосередньо залежить від повної площі усіх сонячних колекторів та обсягу-теплообмінника.

Початкові дані для розрахунку були використані з реального прикладу приватного будинку у районі м.Харків. Основні умови:

- оптимальним кут нахилу сонячного колектора $\varphi = 40°$;
- середній рівень сонячної активності для м. Харків. P_c=1200 кВт·год/м^2;
- кількість людей, споживачів. N = 4 людей;
- добова потреба у воді на одного споживача. V_1=50л;
- площа опалюваного будинку. $S_{оп}$ = 100 м^2;
- тепловитрати будинку. $Q_{тв}$=120 кВт;
- необхідна температура гарячої води. $t_г$ = 55 ºС;
- температура холодної води. $t_х$ = 10 ºС;

5.2. Розрахунок площі сонячних колекторів для гарячого водопостачання та опалення приватного будинку

Для початку, необхідно визначиться з необхідною кількістю гарячої води:

$$V = N \cdot V_1 = 4 \cdot 50 = 200л \quad (5.1)$$

Виходячи з витрати 200 л/добу підберемо бойлер непрямого нагріву відповідного об'єму. Як ми знаємо, вода нагрівається сонцем протягом усього дня, тому щоб

перестрахуватися у разі тривалого похмурого періоду або великого розбору води об'єм бойлера вибирається із запасом від 20 до 80%:

$$V_б = 1.2 \dots 1.8V = 240 \dots 360л \quad (5.2)$$

Обираємо з отриманого діапазону бойлер об'ємом 300 л (0.3 м^3). Керуємося наявністю моделей та доступними ресурсами. В даному випадку бойлер об'ємом 300 л - один з найчастіше використовуваних варіантів.

Температуру в бойлері краще вибрати вище за температуру споживаної води. По-перше, це дасть можливість акумулювати більше тепла і повністю використати потенціал геліосистеми, а по-друге температура вище 60°С запобігає утворенню шкідливих для здоров'я бактерій – легіонели. Налаштовуємо бойлер на температуру $t_б = 60$ °С.

Розраховуємо необхідну кількість тепла, яку потрібно витратити для нагрівання води в бойлері:

$$Q = G \cdot C_p \cdot (t_б - t_х) = 0.3 \cdot 1{,}161 \cdot (60 - 10) = 17.4 \text{ кВт} \cdot \text{год/доба} \quad (5.3)$$

де Q — необхідна кількість тепла для нагріву бойлера, кВт · год;

G — витрати гарячої води. Приймається рівним обсягом бойлера $V_б$ = 0.3 м^3/добу;

C_p— питома теплоємність води, C_p = 1,161 кВт/кг·°С;

Прорахуємо необхідну кількість колекторів Buderus SKN 4.0 – виробник яких поширений на ринку України (характеристики колектора беремо з паспорта):

Площа абсорбера одного колектора $F_1 = 2.18$ м^2;

Оптичний ККД колектора η = 0.77;



Рис. 5.1. Колектор Buderus SKN 4.0

Використовуючи середній місячний рівень сонячної радіації для м.Харків (табл. 4.3.) при $\varphi = 40°$, $q = \frac{2396}{365} = 6.5 \frac{\text{кВт}}{\text{м}^2 \text{ день}}$ розраховуємо кількість тепла Q виробляємо системою:

$$Q = q \cdot F_{\text{сум}} \cdot \eta; \tag{5.4}$$

Де $F_{\text{сум}}$ — сумарна площа геліополя, м^2;

η — оптичний ККД колектора;

Знайдемо необхідну площу геліополя $F_{\text{гвп}}$:

$$F_{\text{гвп}} = \frac{Q}{q \cdot \eta} = \frac{17.4}{6.5 \cdot 0.77} = 3.47 \text{ м}^2; \tag{5.5}$$

Необхідна кількість сонячних колекторів:

$$n_{\text{гвп}} = \frac{F_{\text{гвп}}}{F_1} = \frac{3.47}{2.18} = 1.59 \approx 2\ ; \qquad (5.6)$$

Таким чином ми підрахували, що для сім'ї з 4 осіб, які проживають у Харкові, основними компонентами геліосистеми будуть бак акумулятор на 300л і 2 сонячні колектори SKN 4.0.

Розрахунок необхідної площі сонячних колекторів для опалення будинку робиться на основі тепловитрат будинку з середнім рівнем теплоізоляції, в даному прикладі $Q_{оп}$=120 кВт;

Знайдемо необхідну площу геліополя для опалення, $F_{\text{оп}}$:

$$F_{\text{оп}} = \frac{Q_{\text{оп}}}{q \cdot \eta} = \frac{120}{6.5 \cdot 0.77} = 24\ \text{м}^2 \qquad (5.7)$$

Необхідна кількість сонячних колекторів для опалення:

$$n_{\text{оп}} = \frac{F_{\text{оп}}}{F_1} = \frac{24}{2.18} \approx 11\ ; \qquad (5.8)$$

Сумарна кількість колекторів для ефективного опалення та гарячого водопостачання будинку:

$$n_{\text{сум}} = n_{\text{гвп}} + n_{\text{оп}} = 13 \qquad (5.9)$$

ВИСНОВКИ

1) Визначені основні варіанти сонячного випромінювання та їх вплив на геліоустановки.
2) Проведено зрівняльний аналіз видів та фізичних характеристик геліо колекторів поширених на сучасному ринку України.
3) Досліджено економічну доцільність використання геліо колекторів для опалення та ГВП у східних регіонах України.
4) Виконано огляд методів оптимізації роботи сонячних колекторів та обґрунтовано основні проблеми які можуть бути виникненні при роботі геліо систем.
5) Визначено ключові характеристики сонячного будинку, його оптимальне позиціювання та орієнтування по Сонцю.
6) Визначено значення оптимального кута нахилу сонячного колектору до горизонту для кожної пори року залежно від тривалості роботи у районі м. Харків.
7) Розрахована оптимальна загальна площа та кількість сонячних колекторів для гарячого водопостачання та опалення будинку у районі м. Харків.

ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА

1. Дослідження сонячних колекторів, інтегрованих у конструкцію скляного фасаду будівлі/споруди: необхідність та особливості. Венгрин Ірина, 2019.
2. Розрахунок системи сонячного гарячого водопостачання. В.В.Дубровська, В.І. Шкляр – К.: НТУУ «КПІ», 2016.
3. Порівняльний аналіз сонячних колекторів. Єсіпов О.В 2020.
4. УДК 725, використання енергії сонця в україні. Сонячні батареї. Гетун Г.В., Мельник В.А. 2018
5. Система керування теплоспоживанням будівель з комбінованим теплопостачанням та використанням сонячної енергії. Назаренко А.О.
6. Сонячні колектори Vitosol. Василенко А.О. 2005
7. Економічний та екологічний аспекти теплопостачання на базі геліоустановок. Степанова Н.Д., Пилипенко Т.І. 2002
8. Геліосистеми з використанням високоефективних вакуумних сонячних трубок. Музичук В.І. Музичук М.М. Рябошапка В.Б. 2007
9. Опалення, вентиляція та кондиціонування ДБН В.2.5-67:2013 К. Мінрегіонбуд України,2011. (Державні будівельні норми).
10. Зміна №1 СНиП 2.04.05 – 91 «Опалення, вентиляція та кондиціювання» Держбуд України. - К., 1998.
11. Теплова ізоляція будівель: ДБН В.2.6-31:2006. –[Чинний від 2006–0909] – К.: Міністерство будівництва України, 2006. – 71 с. – (Державні будівельні норми України)
12. Методика расчета плоского солнечного коллектора с применением конструкции лист-труба. Малых В.В., Удалов С.Н., Захаров А.А.

13. Анализ рентабельности использования солнечных коллекторов для отопления и гвс частного дома в уральском регионе. М.А. Митрошин, М.А. Шкред, И.А. Пономарев 2002
14. Андреас Люке, Європейський ринок опалювального обладнання – орієнтація на високоефективні технології та відновлювані джерела енергії // Енергозбереження.-2007.-№4.- С.57-58.
15. Laurent Georges, Monica Berner, Hans MartinMathisen Air heating of passive houses in cold climates: Investigation using detailed dynamic simulations. Buildin and Environment. 2014. Vol. 74. P. 1 – 12.
16. Дарио Беллоккио Электронные счетчики//Энергосбережение.-2007.-№3.-С.64-68.
17. Лозинський Д.Й., Тимченко М.П. Існуючий стан і перспективи законодавчого регулювання електрообігріву в Україні// Енергетика та електрифікація. - 2007.- №10.-С.31-41.
18. Мацевитый Ю. М., Маляренко В. А. Моделирование теплового состояния элементов турбомашин. — Киев: Наук. думка, 1979. — 253 с.
19. Дзядикевич Ю.В. Енергетичний менеджмент / Дзядикевич Ю.В., Буряк М.В., Розум Р.І. – Тернопіль: Економічна думка, 2010. – 295 с.
20. Маляренко В.А., Доценко С. І., Темнохуд І.О. (Казарова І.О.). Технологія виробництва електроенергії: Конспект лекцій для студентів 1, 2 курсу денної, 2 курсу заочної форм навчання за напрямом підготовки 6.050701 «Електротехніка та електротехнології» зі спеціальності «Електротехнічні системи електроспоживання».– Харків: ХНУМГ, 2014. 168 с.
21. Левенберг, В. А. Аккумулирование тепла [Текст] / В. А. Левенберг, М. П. Ткач, В. А. Гольстрем. –Киев : Техника, 1991. – 112 с.

22. Бодров, В. І. Інженерні основи створення пасивних будинків: підручник / В. І. Бодров, М. В. Бодров, В. Ю. Кузін, Ж. А. Шевченко; Нижегір. держ. архітектур.- будує. ун-т. - Н. Новгород: ННДАСУ, 2015. - 110 с. ISBN 978-5-528-00126
23. Васильєв Г.П. Одна з головних проблем енергоефективності - відсутність контролю якості будівництва Енергозбереження. 2014. No 6. С. 10-12
24. Опарина, Л.А. Функциональное моделирование жизненного цикла энергоэффективных зданий / Л.А. Опарина // Энергосбережение. – 2011. № 7. –С. 69-71.
25. Савін В. К., Савіна Н. В. Архітектура та енергоефективність будівель //Містобудування. 2013. No 1. С. 82-84. 9. Воронін О. В. Досвід країн Євросоюзу в галузі технічного нормування теплового захисту будівель і споруд.// Технології будівництва. 2007. No С. 75. 10
26. Бекман, Г. Тепловое аккумулирование энергии [Текст] / Г. Бекман, П. Гилли ; Пер. с англ. В.Я.Си_дорова, Е. В. Сидорова; Под ред. В. М. Бродянского. – М. : Мир, 1987. – 272 с.
27. Корнієнко С.В. Комплексна оцінка енергоефективності та теплового захисту будівель. Будівництво унікальних будівель та споруд. 2014. No 11 (26). З. 33-48.
28. Кобелева, С.А. Разработка методики определения полной энергоёмко-сти зданий / С.А. Кобелева // Строительство и реконструкция. – 2012. - № 1 (39). – С. 74-78.
29. Аврорин А.В. Экологическое домостроение: проблемы энергосбережения: аналитический обзор /А.В.Аврорин–М.: ГПНТБ СО РАН ,1999. -Том 53 –71 с. 2.

30. Горшков О.С., Лівчак В.І. Історія, еволюція та розвиток нормативних вимог до конструкцій, що обгороджують – Будівництво унікальних будівель та споруд. No3(30). З. 7-37.
31. Табунщик Ю.А., Бродач М.М. Системний аналіз проектування енергоефективні будівлі – Architecture and Modern Information Technologies. 2015. No Special. З. 14.
32. Бібік Н.В. Будівництво як інноваційний підхід до формування сталого розвитку України / Н.В. Бібік // Економіка будівництва та міського господарства економіки. – 2014. – No 1. – С. 23–29.
33. Табунщик Ю. А., Наумов А. Л. Енергоефективність у будівництві. Гармонізація вітчизняної нормативної бази // АВОК: Вентиляція, опалення, кондиціювання повітря, теплопостачання та будівельна теплофізика. 2012. Т. 6, No 6. С. 4-9.
34. Feist W. Das kostengünstige Passivhaus - Proektbeschreibung / W. Feist // Arbeitkreis kostengünstige Passivhäuser. Protokolband No 1. Darmstadt, 1996. S. 9–21.
35. Козачун Г.У., Смик О.Г. Принципи формування об'ємно-планувальних
36. рішень житлових садибних будинків із обслуговуванням Житлове будівництво. 2008. No 7. С. 35-3722.
37. Сотникова, О. А. Аккумуляторы теплоты теплогенерирующих установок систем теплоснабжения [Текст] / О. А. Сотникова, В. С. Турбин, В. А. Григорьев // АВОК. 2003. № 5. С. 40–44.
38. Табунщиков Ю.А. Строительные концепции зданий XXI века в области теплоснабжения и климатизации // АВОК № 4, 2005 г. С 4-8.
39. Сабади П. Р. Солнечный дом / П. Р. Сабади — М.: «Стройиздат», 1981. 105 с.

40. Теличенко, В.И. Информационное моделирование технологий и бизнес-процессов в строительстве: научное издание / В.И. Теличенко, А.А. Лапидус – М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2008.– 144 с.
41. Саницький М.А. Проблеми енергозбереження в сучасному житлово-цивільному будівництві / М.А. Саницький, О.Р. Позняк, У.Д. Марущак // Міжвідомчий науково-технічний збірник “Будівельні конструкції”, 2005. – Вип. 63. – С. 234–239.
42. Природопользование : учебник / под ред. Э. А. Арустамова. М. : Дашков и К°, 2000. 284 с.
43. Территориальные строительные нормы: Энергетическая эффективность в жилых и общественных зданиях: МГСН 2.01-99 / Введ.23.01.99.