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

Пояснювальна записка

до дипломної роботи

за освітньо-кваліфікаційним рівнем магістр

«Дослідження особливостей роботи геліосистем в системі теплопостачання житлових будинків»

Виконав: студент 2 курсу
магістратури,
групи НФ-62
Микита ЛУЦЕНКО
Спеціальність:
«Прикладна фізика та наноматеріали»
Керівник: к.т.н., доцент
Інна КАЗАРОВА

Рецензент:

Харків - 2021

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Харківський національний університет імені В.Н.Каразіна

ННІ 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)

Луценко Микита Євгенійович
(прізвище, ім'я, по батькові студента)

1. Тема роботи: "Дослідження особливостей роботи геліосистем в системі теплопостачання житлових будинків"
Керівник роботи Казарова Інна Олександрівна, к. т. н._____
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом по університету від "30" вересня 2021 року №0210-05/1959
2. Строк подання студентом роботи _____
3. Перелік питань, які потрібно розробити
Аналіз варіантів сонячного опалення та його видів. Огляд принципів роботи та тенденцій впровадження сонячних колекторів. Аналіз особливостей роботи фокусуючих колекторів. Пасивний сонячний обігрів на базі теплиці як частини приміщення. Узагальнення тенденцій використання сонячної енергії в енергозберігаючих будинках.

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 п'ятого 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 _____ Микита ЛУЦЕНКО
підпис ініціали, прізвище

Керівник роботи _____ Інна КАЗАРОВА
підпис ініціали, прізвище

РЕФЕРАТ

Робота на тему «Дослідження особливостей роботи геліосистем в системі теплопостачання житлових будинків» виконана студентом другого курсу магістратури Луценко Микитою Євгенійовичем.

Виконана робота за обсягом займає 93 сторінок, яка має 5 розділів; 20 таблиць, 35 ілюстрацій та 40 використаних джерел.

Ця робота присвячена принципу роботи геліосистем для системи опалення та гарячого водопостачання житлових будинків.

Дослідження та розрахунки в цій роботі показують і пояснюють, чому відновлювані джерела енергії кращі, ніж будь-які інші, та в чому перевага різних типів геліосисем.

Ключові слова: сонячне випромінювання , сонячний колектор, сферичної форми, геліосистема, теплові втрати.

ABSTRACT

The work on the topic "Study of the peculiarities of the operation of solar systems in the heating system of residential buildings" was performed by a second-year master's student Lutsenko Nikita Yevgenyevich.

The work performed by volume occupies 93 pages, which has 5 sections; 20 tables, 35 illustrations and 40 sources used.

This work is devoted to the principle of operation of solar systems for heating and hot water supply of residential buildings.

Research and calculations in this paper show and explain why renewable energy sources are better than any other, and what is the advantage of different types of solar systems.

Key words: solar radiation, solar collector, spherical shape, heliosystem, heat losses.

ЗМІСТ

ВСТУП……7
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ВАРІАНТІВ СОНЯЧНОГО ОПАЛЕННЯ ТА ЙОГО ВИДІВ…….……..8
РОЗДІЛ 2 ОГЛЯД ПРИНЦИПІВ РОБОТИ ТА ТЕНДЕНЦІЙ ВПРОВАДЖЕННЯ СОНЯЧНИХ КОЛЕКТОРІВ…….....……..19
2.2 Бак-аккумулятор……..…22
2.3 Інші компоненти сонячного контуру……28
2.4 Сонячні теплові установки…….35
РОЗДІЛ 3 ПАСИВНЕ ВИКОРИСТАННЯ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГІЇ…….47
3.1 Пасивні сонячні теплові системи……...47
3.2 Народні методи будівництва. Традиційне житло……..48
3.3 Параметри та визначення для пасивних будинків……....50
3.4 Головні кліматичні фактори……....54
3.5 Компоненти пасивних сонячних систем……...56
3.6 Системи пасивного опалення…….61
3.7 Приклади пасивних сонячних систем……...64
РОЗДІЛ 4 ПАСИВНИЙ СОНЯЧНИЙ ОБІГРІВ НА БАЗІ ТЕПЛИЦІ ЯК ЧАСТИНИ ПРИМІЩЕННЯ…….....68
4.2 Скління…….69
4.3 Акумулювання тепла…….....69
4.4 Збереження тепла……70
4.5 Розподіл тепла…….……71
4.6 Засоби управління……..…71
РОЗДІЛ 5 Розрахунок потужності сонячного колектору……...73
5.1 Різновиди вакуумних трубок в сонячному колекторі……...73
5.2 Розрахунок різних конфігурацій трубок в сонячному колекторі……77

ВИСНОВОК……...89
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ……..90

Вступ

У сучасному людському суспільстві прогрес неможливий без активного споживання енергії, яка необхідна для успішного розвитку сільського господарства, промисловості та підвищення рівня комфорту життя.

За останні десятиліття споживання енергії на душу населення зросло у десятки разів. У цій ситуації активне отримання енергії за рахунок традиційних видів вуглеводневого палива (вугілля, газ, нафта) призвело до різкого скорочення їх запасів і водночас забруднення навколишнього середовища.

Численні шкідливі викиди в атмосферу стали причиною потепління клімату, і, як наслідок, це приводило до різних природних катаклізмів, як повені, зникнення льодовиків, руйнівні урагани тощо.

Все це разом потребувало пошуку альтернативних нетрадиційних підходів до використання енергії. До таких джерел енергії можна віднести енергію відновлюваних джерел (сонця, вітру, геотермальна енергія, енергія біомаси, малих гірських водотоків, енергія хвиль тощо).

Розвиток енергетики та взаємопов'язаних із нею питань екології є однією з основних глобальних проблем у світі.

Важливо, щоб альтернативна єнергетика була доступна для кожного. Але для цього необхідно мати певні знання, які можливо використати для обладнання своєї оселі. Це допоможе максимально ефективно використати енергію відновлювальних ресурсів, а саме енергію сонця, яка була розглянута в цій роботі. Але необхідно розуміти принципи роботи певного обладнання та його конфігурації, які можна використати, для найбільш ефективного облаштуванні своєї будівлі.

Тому важливо розглянути різні види конфігурації установок, з яких кожен може обрати для себе найбільш оптимальний варіант для своєї оселі.

1. Аналіз варіантів сонячного опалення та його видів

Сонячні теплові системи - це системи, що перетворюють сонячне випромінювання на першому етапі в теплову енергію. Серед теплових сонячних систем розрізняють активні і пасивні системи. До активних теплових сонячних систем додаються різні сонячні установки, наприклад, перетворювач сонячної енергії (колектор) з баком-акумулятором.

Пасивні системи являють собою елементи конструкцій будівель, наприклад, вікна на південному фасаді або затінені вікна за допомогою покрівлі даху в літній час. Найбільш очевидна область використання сонячної енергії - це підігрів води та повітря. Відповідно, існує безліч технічних рішень, що дозволяють використовувати сонячну енергію для гарячого водопостачання, опалення, опріснення води, сушки сільськогосподарської продукції і навіть охолодження.

Для побутових потреб найпоширенішими є установки для гарячого водопостачання і сонячного опалення. Будь-яка сонячна установка складається з ряду компонентів, одні з яких перетворюють енергію, інші транспортують її, а треті зберігають.

Сонячний колектор - частина сонячної установки, що дозволяє перетворювати сонячну енергію в теплову. Теплова енергія переноситься теплоносієм (вода, антифриз) по трубопроводах через теплообмінник в бак-акумулятор, в якому відбувається накопичення теплової енергії.

Топка призначена для підігріву води, яка потім через вихід подається споживачеві. Через підвідний трубопровід відбувається поповнення води в баку-акумуляторі. Циркуляційний насос необхідний для створення циркуляції теплоносія.

Сонячний колектор є одним з основних компонентів сонячної нагрівальної установки. У цьому компоненті відбувається поглинання

сонячної радіації, перетворення її в теплову енергію, і передача теплової енергії теплоносію.

Існують різні типи класифікації сонячних колекторів. Колектора в залежності від що досягається вихідний колектора з температури діляться на низькотемпературні, середньотемпературні і високотемпературні. Крім того, розрізняють концентрують і не концентрують колектора.

Угруповання колекторів здійснюється в залежності від використовуваного теплоносія (рідина або повітря): повітря і рідинні. У повітряних колекторах в якості теплоносія використовується повітря, а в рідинних - це вода, незамерзаючі суміші (наприклад, гліколь), а також спеціальні розчини солей, які нагрівають вище 500 ° С.

Рідинні колектори.

Серед рідинних колекторів можна виділити основні чотири типи: плоский;

- незасклений (абсорбер);
- вакуумований;
- концентруючий.

На рис 1.1 зображено - плоский сонячний колектор. Робота плоского колектора - перетворення сонячного випромінювання на теплову енергію – заснована на парниковому ефекті. Світлопрозоре покриття є прозорим для сонячного випромінювання, проте, непрозорим для інфрачервоного.

Сонячне випромінювання проходить через світлопрозоре покриття та поглинається абсорбером, за рахунок чого він нагрівається. Нагрітий абсорбер стає джерелом довгохвильового (інфрачервоного) випромінювання. Однак, завдяки властивості світлопрозорого покриття, більша частина енергії залишається всередині колектора та поглинається теплоносієм.

Абсорбер є основним елементом сонячного колектора. Абсорбер виготовляється в основному з міді та алюмінію, які мають хороші

коефіцієнти теплопровідності і є стійкими до корозії. Є також абсорбери, виготовлені з нержавіючої сталі або пластмаси, наприклад, із поліпропілену.

На ринку кольорових металів мідь коштує дорожче, ніж алюміній, тому іноді листи абсорберів виготовляють із алюмінію, а трубки з міді. Така комбінація стала можлива з розвитком ультразвукового зварювання, що дозволяє варити мідь з алюмінієм. Плоский сонячний колектор складається з наступних компонентів:

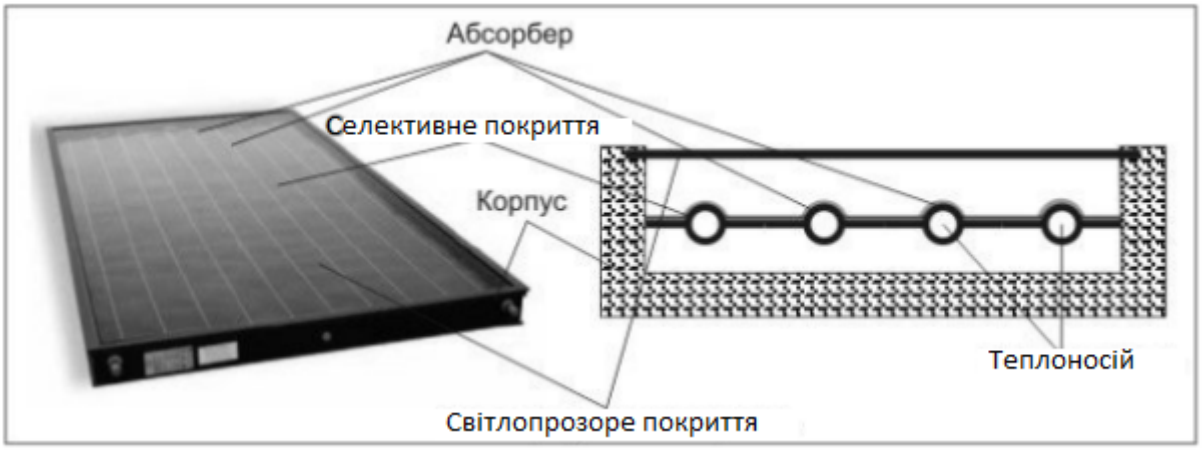


Рис 1.1 Плоский колектор (праворуч) та його поперечний зріз (ліворуч)

Селективне покриття є тонким покриттям (150-200нм), яке наноситься поверх абсорбера та підвищує ефективність сонячного колектору. Селективне покриття добре поглинає короткохвильову радіацію (тобто сонячне випромінювання), одночасно має низьку випромінювальну здатність в інфрачервоному діапазоні. Основний критерій оцінки селективного покриття - це відношення поглинаючої та випромінювальних здібностей:

$$\xi = \frac{\alpha}{\varepsilon}$$

де *a* - коефіцієнт поглинання або абсорбції, за визначенням, та частинах сонячної радіації, яка була поглинута;

e - коефіцієнт випромінювання, що показує, яка частина довгохвильового спектру випромінюється.

Чим більший коефіцієнт ξ, тим краще селективне покриття. На сьогодні відомо багато комерційних продуктів, що мають $a = 0,95$, $e = 0,05$, відповідно, $\xi = 19$.

Світлопрозоре покриття є прозорою теплоізоляцією для сонячного колектору. Як світлопрозоре покриття використовують спеціальне скло з низьким вмістом заліза (засклення будівель – концентрація заліза набагато більша) або прозорий пластик[1].

Світлопрозоре покриття має добре пропускати сонячну радіацію. Мірою якості світлопрозорого покриття для сонячного колектору є коефіцієнт трансмісії. Коефіцієнт трансмісії (t) – це частка сонячного випромінювання, що пройшла крізь скло, наприклад, спеціального скла він сягає 0,97, тобто. на втрати при відображенні та поглинанні припадає 3%. Корпус із ізоляцією служить для зв'язку основних компонентів сонячний колектор. Корпус виготовляють із алюмінію, оцинкованого заліза, синтетичних матеріалів або деревини. Корпус надає колектору механічну міцність.

Ізоляція для теплового коллектора зроблена зі стандартних ізоляційних матеріалів (наприклад, поліуретан, скловолокно, мінеральна вата), що мають невеликий коефіцієнт теплопровідності. Однією з вимог до ізоляції є температуростійкість. Теплоносій. Як теплоносій для сонячного теплового коллектора може бути вода, суміш води з антифризом або спеціальний розчин солі. Теплоносій повинен відповідати таким вимогам: мати відносно високий коефіцієнт теплоємності, низький коефіцієнт в'язкості, бути нетоксичним, не бути корозійним для трубопроводів системи.

Для цілорічних сонячних систем гарячого водопостачання та опалення як теплоносій застосовується суміш води з антифризом, щоб уникнути розморожування системи. Як антифриз часто використовується етиленгліколь або пропіленгліколь. Така суміш залежно від концентрації має низьку температуру замерзання, що дозволяє безпечно використовувати установку

цілий рік. Однак такий теплоносій проти водою має такі недоліки – знижений коефіцієнт теплоємності, підвищений коефіцієнт в'язкості (табл.1.1). Знижений коефіцієнт теплоємності означає підвищення температури теплоносія під час транспортування тепловою енергією, що відповідно збільшує теплові втрати. Підвищений коефіцієнт в'язкості веде до збільшення потужності насоса до створення примусової циркуляції теплоносія.

Табл 1.1 Характеристики теплоносіїв

	Температура замерзання (°С)	Теплопровідність при 50°С Вт(м·°С)	Теплоємність при 50°С (Дж(кг°С))	Кінематична в'язкість при 20°С($мм^2/с$)
Вода	0	0,64	4180	1,004
Вода-гліколь	-27	0,44	3850	4,3

Нескляний колектор (абсорбер). Найпростішим тепловим сонячним колектором є абсорбер або нескляний колектор, що складається лише з абсорбера. Абсорбер не має ізоляції та світлопрозорого покриття, виготовлений з пластмас, таких як етилен-пропілен-дієн-мономер (EPDM) або поліпропілен (PPH). EPDM матеріал, який крім сонячної енергетики застосовується для пластикових вікон або як заповнювач швів у будівлях та в автопромисловості. Матеріал є довговічним (близько 30 років) навіть за постійного впливу ультрафіолетового випромінювання. Є морозостійким та застосовується при широкому спектрі температур (від -50 °С до 150 ° С).

Подібні сонячні абсорбери, призначені для нагрівання води, характеризуються простотою, дешевизною, довговічністю та відсутністю корозії. Головною відмінністю абсорберів від інших видів колекторів є їхній

підвищений конвективний теплообмін з навколишнім середовищем, у зв'язку з чим обмежується температура нагрівання води. Одночасно абсорбери мають високий оптичний ККД (продукт τα1) у вигляді відсутності світлопрозорого покриття, тому при незначному нагріванні теплоносія (не набагато перевищує температуру навколишнього середовища) даний колектор найбільш ефективний, ніж всі інші види колекторів.



Рис.1.2 EPDM абсорбер трубчастий (ліворуч) та PPH абсорбер-гофровані труби (праворуч)

Сполучні трубопроводи для абсорберів виконані насамперед з поліетилену (PE), поліпропілену (PP) та полівінілхлориду (PVC). Трубопроводи з полівінілхлориду повинні бути захищені від ультрафіолетового випромінювання, а також випорожнені в зимовий період. Зауважимо, що подібні абсорбери знайшли широке застосування для підігріву води в басейнах, і користуються великим попитом у Європі та США.

Вакуумний колектор. Вакуумний колектор отримав своєрідну назву через вакуум, який є теплоізоляцією для даного колектора. Якщо потрібно досягти більш високої температури, то застосовуються вакуумні колектори. Основним компонентом вакуумного колектора є скляна трубка, що знаходиться всередині іншої скляної трубки. Селективне покриття нанесене на зовнішню поверхню внутрішньої поглинаючої труби. Простір між трубками заповнений вакуумом, тиск може досягати 0,1 Па і підтримуватися понад 100 років. Зазвичай зовнішній діаметр трубки сягає 2-5 см, а

внутрішній 1-2 см. Вакуумовані колектори є модульними, тобто. трубки можна додавати або знімати при необхідності, залежно від потреби у гарячій воді.

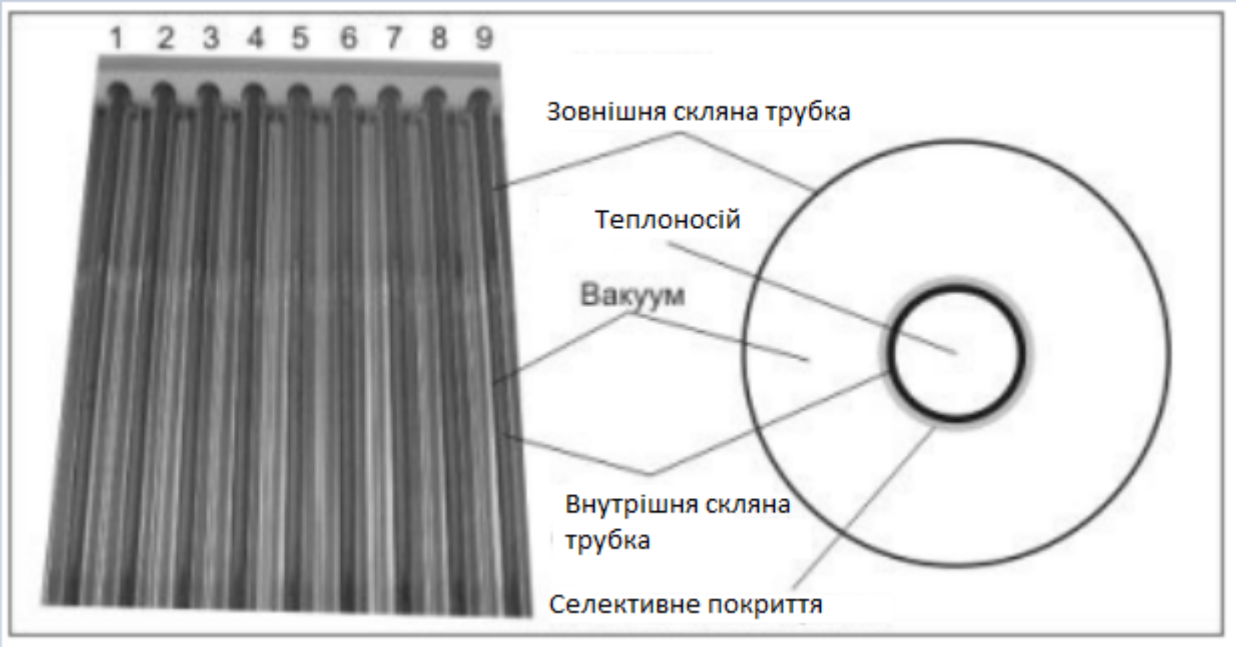


Рис.1.3 Вакуумований коллектор

На рис.1.3 зображено вакуумований колектор (ліворуч), що складається з дев'яти вакуумних трубок, та поперечний переріз дев'ятої вакуумної трубки. Відмінна риса, що характеризує всі трубчасті колектори, полягає в тому, що втрати на відображення сонячної радіації будуть меншими, ніж у колекторах з плоскою заскленою поверхнею. Це дозволяє збільшити використання сонячної радіації рано вранці та наприкінці дня. Вимогою до вакуумних колекторів є також їхня механічна міцність. Дощ, сніг та незначний град безпечні для таких видів колекторів. Температура нагрівання в таких колекторах може досягати понад 200 °С.

Фокусуючі колектори використовують оптичні системи – дзеркала або лінзи для збільшення щільності сонячної радіації на поверхні, що поглинає енергію. Завдяки збільшенню щільності сонячної радіації можна отримати більш високу температуру нагріву поглинаючої поверхні.

Система лінз не використовується для великих сонячних установок через їх велику вартість. Для великих сонячних установок використовуються виключно дзеркала. Дзеркала повинні завжди стежити за рухом сонця, тому що дзеркала концентрують тільки прямую радіацію.

Фокусуючий колектор складається з приймача та концентратора. Концентратор – це оптична система (дзеркала або лінзи), направляючі поток випромінювання на приймач. Приймач – це частина фокусуючого колектора, поглинаючого випромінювання та перетворює його в інший вид енергії.

Для характеристики концентрируючих сонячних систем використовують поняття «коефіцієнт концентрації».

Коефіцієнт концентрації (C) –це відношення площі концентратора (A_k) до площі приймача (A_{np})

$$C = \frac{A_k}{A_{np}}$$

Максимальна теоретична концентрація сонячної радіації дорівнює:

$$C_{max} = \frac{1}{\Theta_s^2} = 46211,$$

де $\Theta_s = 0,27^{\circ}$ напівкут, під яким із Землі спостерігається сонячний диск. Якщо система сонячного стеження відбувається по одній осі на лінійний приймач, то максимальна концентрація дорівнює:

$$C_{max} = \sqrt{C_{max}} = 215.$$

Дані коефіцієнти концентрації дійсні лише для планети Земля з напів кутом, під яким видно сонячний диск. Для інших планет, які далі віддалені від Сонця, ніж планета Земля, теоретично досяжні більш високі концентрації. Завдяки концентрації сонячної енергії, можливе досягнення високих температур, які можуть вимірюватися тисячами градусів за цельсієм. Якщо припустити, що на абсорбер (приймач) з максимальним теоретичним

концентратором направляється сонячна енергія, то в цьому випадку досягається максимальна температура абсорбера. Для спрощення розрахунку знехтуємо конвекцією і теплопровідністю і припустимо, що втрата енергії абсорбера відбувається тільки за рахунок випромінювання, тоді можна скласти рівняння балансу:

$$C_{max} \cdot G_c = \sigma \cdot T_{max}^4,$$

де $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} (\text{Вт}/\text{м}^2\text{К}^4)$ - постійна Больцмана; $G_c = 1353 (\text{Вт}/\text{м}^2)$ - сонячна стала.

Зі співвідношення визначаємо максимальну теоретичну температуру абсорбера:

$$T_{max} = \sqrt[4]{\frac{C_{max} \cdot G_c}{\sigma}} = \sqrt[4]{\frac{46211 \cdot 1353}{5,67 \cdot 10^{-8}}} = 5762\ (K)$$

Температура 5762 K відповідає температурі поверхні Сонця, однак, в реальності температури, одержані за допомогою концентраторів, не досягають температури поверхні Сонця. На графіку наведено теоретично можливі температури, залежно від коефіцієнта концентрації (рис.1.3)

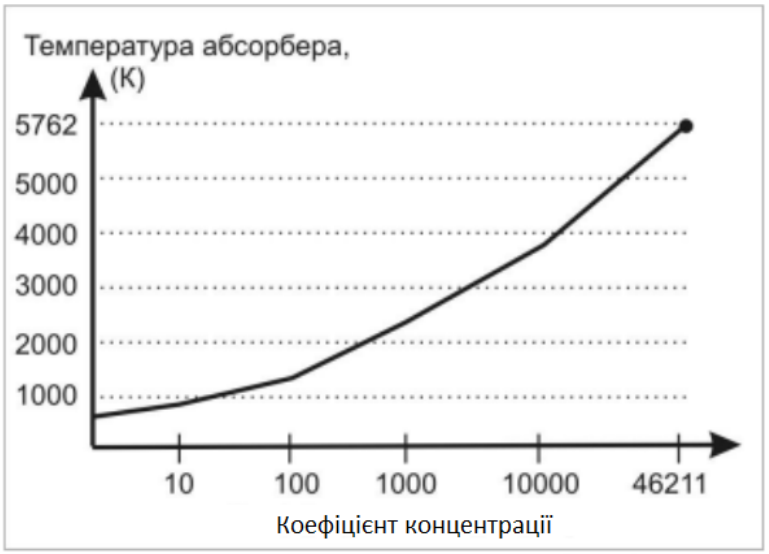


Рис. 1.4. Теоретично можливі температури абсорбера залежно від коефіцієнта концентрації

Розрізняють такі фокусуючі колектори(рис 1.5):

а) плоский приймач і плоский відбивач (коефіцієнт концентрації С = 2 ... 15);

б) параболічний концентратор (С = 100 ... 5000);

в) концентратор Френеля (лінзи Френеля, С = 20 ... 80);

г) та ін. (конічний відбивач, циліндричний приймач (С = 1 ... 3), лінза Френеля з приймачем (С = 10 ... 40).

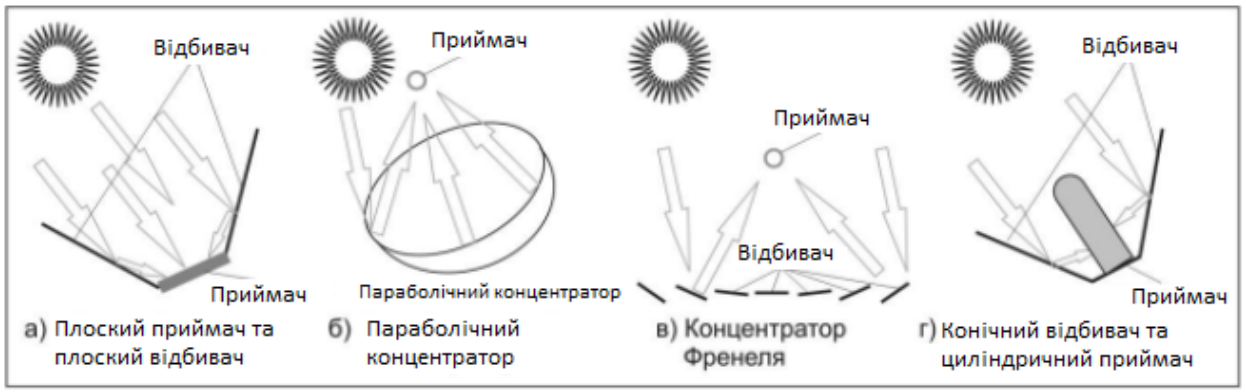


Рис 1.5 Типи фокусуючих коллекторів

Концентрація сонячної енергії можлива лише в тих регіонах, де переважає пряма радіація. Місцевість, де пряма радіація становить лише 50% глобальної радіації, слід обмежити використання концентрують колекторів, тому що концентрувати можна лише пряму радіацію.

Повітряні колектори. Повітряні колектори, як уже було зазначено вище, відрізняються тим, що як теплоносій тут використовується повітря. Через низький коефіцієнт теплопередачі між поверхнею абсорбера і теплоносієм (повітря) необхідно мати значно більшу площу теплообміну[2].

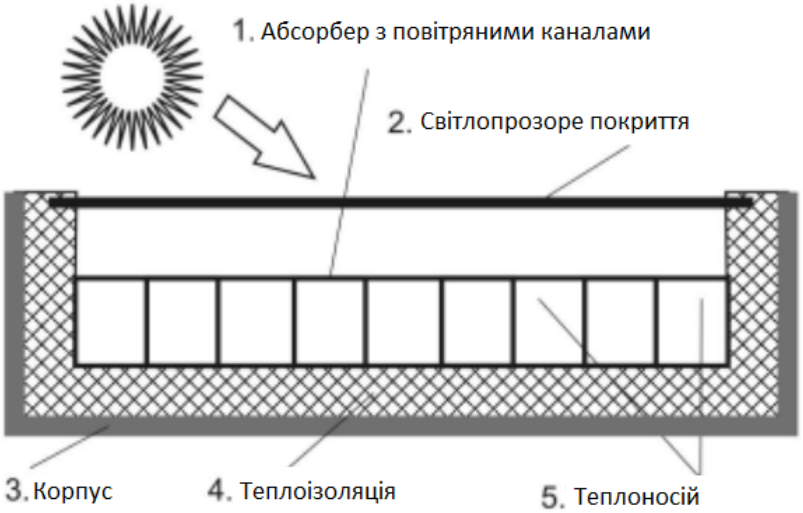


Рис.1.6 Конструкція повітряного колектора

Однак, повітряному колектору не загрожує проблема, пов'язана з перегріванням теплоносія, його охолодженням та корозією, тому конструкція повітряних колекторів значно проста порівняно з водяними колекторами. Навіть незначний витік теплоносія не такий проблематичний, як для рідинних колекторів. Недоліком повітряних колекторів найчастіше є значна потужність вентиляторів, необхідних для створення циркуляції в повітряному колекторі. Повітряні колектори використовуються для опалення будівель, а також для гарячого водопостачання (рис.1.6). Є повітряні колектори зі світлопрозорою ізоляцією та без неї.Повітряні колектори без ізоляції є гофрованими, перфорованими листами металу, які призначені як для монтажу на даху, так і на фасаді будівлі (рис.1.7).

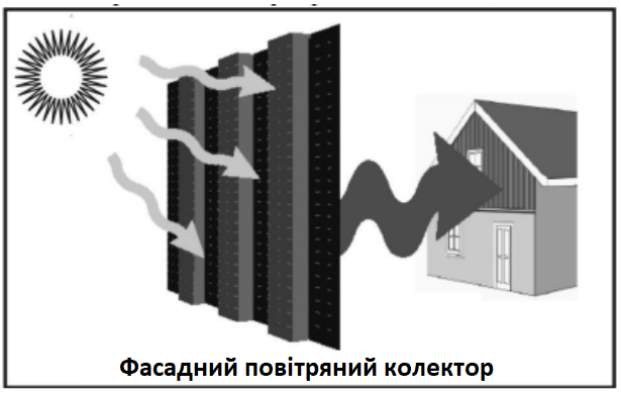


Рис.1.7 Фасадний повітряний колектор

2. Огляд принципів роботи та тенденцій впровадження сонячних колекторів

Енергія, що перетворюється сонячним колектором площею A [м^2] і при потужності сумарної сонячної радіацій G_{gl}[Вт/м^2] дорівнює:

$$Q_к = \tau \cdot a \cdot G_{gl} \cdot t \cdot A - Q_{вип} - Q_{теп} - Q_{кон},$$

де $Q_к$ - енергія, перетворена сонячним колектором, Дж;

τ - коефіцієнт трансмісії світлопрозорого сонячного покриття колектора;

a - коефіцієнт абсорбції сонячного колектора;

t - проміжок часу роботи сонячного колектора, с;

$Q_{вип}$ - теплові втрати сонячного колектора за рахунок випромінювання, Дж;

$Q_{теп}$ - втрати сонячного колектора за рахунок теплопровідності, Дж;

$Q_{кон}$ - втрати сонячного колектора за рахунок конвективного теплообміну з навколишнім середовищем Дж.

Як видно з рівняння (3.7), колектор, перетворюючи сонячну радіацію та передаючи її теплоносію, втрачає енергію також за рахунок відомих процесів теплопередачі: за рахунок випромінювання, конвекції та теплопровідності.

Енергія, що втрачається за рахунок випромінювання:

$$Q_{вип} = \varepsilon_{абс} \cdot A \cdot \sigma(T_{абс}^4 - T_{неба}^4),$$

де $\varepsilon_{абс}$ - коефіцієнт емісії абсорбера сонячного колектора,

$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8}$ - постійна Больцмана;

$T_{абс}^4$ - температура абсорбера сонячного колектора К;

$T_{неба}$ - температура небозводу над сонячним колектором, К.

Енергія, що втрачається за рахунок теплопровідності та конвективного теплообміну:

$$Q_{\text{теп}} + Q_{\text{кон}} = A + U_m(\text{Т}_{\text{абс}} - \text{Т}_{\text{навк}}),$$

де U_m - коефіцієнт теплових втрат за рахунок конвекції та теплопередачі при заданій швидкості вітру Вт/(м^2 · К);

$\text{Т}_{\text{навк}}$ - температура навколишнього середовища, К.

Мірою досконалості сонячного колектора є коефіцієнт корисної дії ($\eta_{\text{к}}$), який визначається як відношення теплової потужності сонячного колектора та сонячного випромінювання, що приходить, що падає на колектор:

$$\eta_{\text{к}} = \frac{Q_{\text{к}}}{G_{gl} \cdot t \cdot A} = \tau \cdot a - \frac{U_m}{G_{gl}} \cdot (\text{Т}_{\text{абс}} - \text{Т}_{\text{навк}}) - \frac{\varepsilon_{\text{абс}} \cdot \sigma(\text{Т}_{\text{абс}} - \text{Т}_{\text{неба}})}{G_{gl}}.$$

Для графічного відображення характеристик коефіцієнта корисної дії колекторів, рівняння спрощується до вигляду:

$$\eta_{\text{к}} = \tau \cdot a - U_{m\text{еп}} \frac{(\text{Т}_{\text{абс}} - \text{Т}_{\text{навк}})}{G_{gl}} = \eta_0 - U_{m\text{еп}} \frac{(\text{Т}_{\text{абс}} - \text{Т}_{\text{навк}})}{G_{gl}}, \quad (3.11)$$

де $\eta_0 = \tau \cdot a$ - оптичний ККД сонячного колектора;

$U_{m\text{еп}}$ - узагальнений коефіцієнт теплових втрат сонячного колектора Вт/(м^2 · К).

Спрощене рівняння (3.11) показує, що ККД сонячного колектора залежить від двох складових – оптичного ККД та теплових втрат.

Оптичний ККД - це добуток коефіцієнтів трансмісії та абсорбції сонячного колектора. Якщо прийняти, що температура навколишнього середовища дорівнює температурі абсорбера, то друга складова стає рівною нулю. У цьому випадку сонячний колектор досягає максимального ККД, що дорівнює оптичному ККД. Оптичний ККД залежить лише від матеріалу колектора і показує, наскільки вдосконалено коефіцієнти трансмісії та абсорбції.

Друга складова – теплові втрати залежить від різниці температур абсорбера та довкілля, а також від потужності сонячного випромінювання. Температура в точці перетину кривої ККД колектора з віссю Х - це максимальна температура колектора, при якій вся енергія йде на покриття втрат (ККД дорівнює 0).

На рис.2.1 показані характеристики ККД для плоского колектора за різної потужності сонячного випромінювання. З графіків видно: чим нижче сонячна радіація, що приходить, тим крутіше крива ККД колектора[3].

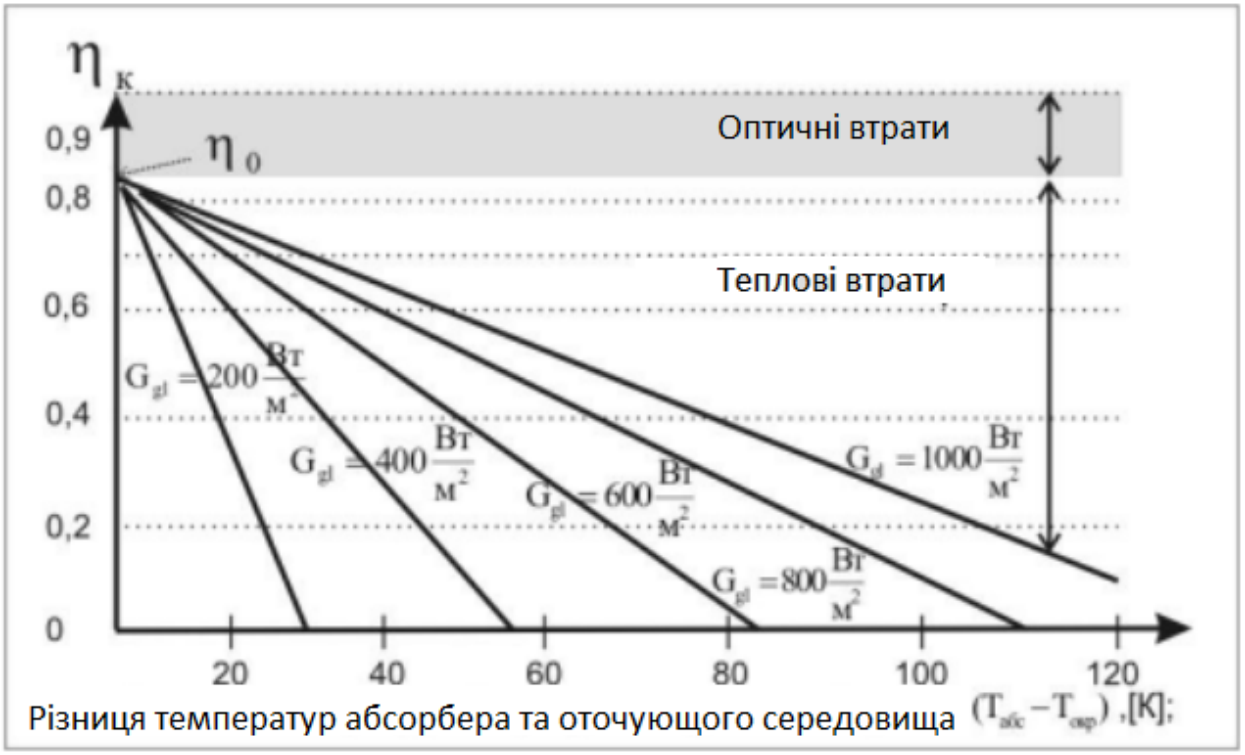


Рис.2.1 Характеристики ККД для плоского коллектора у залежності від сонячної радіації, що надходить

На рис.2.2 представлені криві характеристики ККД різних типів рідинних колекторів. Як видно, через відсутність скла (тобто τ =1) найбільшим оптичним ККД має абсорбер. Можна дійти невтішного висновку, що з нагріву води, температура якої трохи перевищує температуру навколишнього повітря, ідеально підходить абсорбер. Для досягнення

високих температур слід застосовувати вакуумний колектор, ефективність якого з цією метою максимальна.

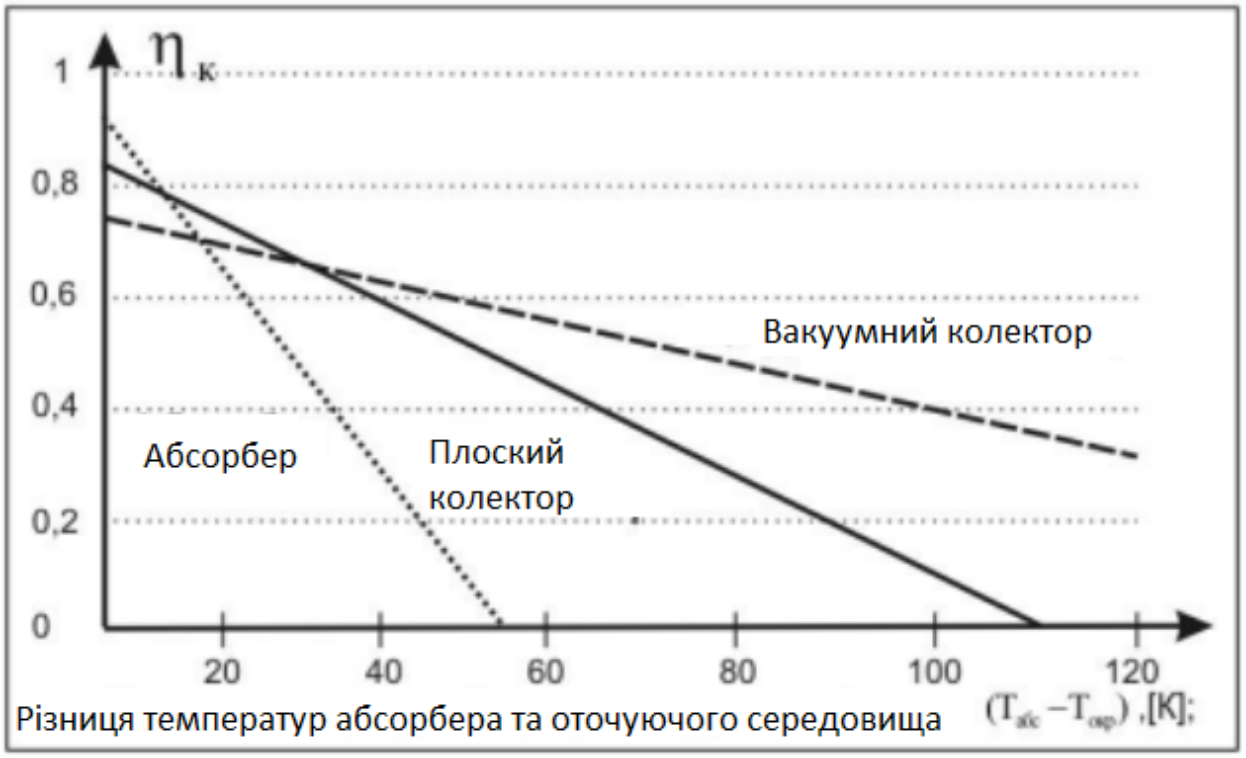


Рис.2.2 Характеристики ККД для різних типів сонячних рідинних колекторів

2.2 Бак-аккумулятор.

Графік потреби енергії не завжди збігається з графіком сонячної радіації, що приходить, тому необхідно запасати енергію в баках-акумуляторах. Бак-акумулятор є необхідною складовою сонячної теплової установки для гарячого водопостачання або комбінованої установки. Основною функцією бака-акумулятора є накопичення енергії.

На рис.2.3 показані речовини, що використовуються для акумуляції теплової енергії. Розрізняють: речовини, що акумулюють енергію лише за рахунок теплоємності – «фізичне тепло»; матеріали, що використовують енергію фазових переходів (тверда речовина – рідина, тверда – газоподібна речовина) – «приховане тепло»; також тепло від хімічних реакцій. У сонячних теплових системах для гарячого водопостачання та опалення

застосовуються найчастіше водяні баки-акумулятори, що використовують воду як акумулюючу речовину. Водяний бак-акумулятор є ізольованою ємністю, заповненою водою. Гальковий бак-акумулятор застосовується для акумулювання енергії та використовується спільно з повітряними системами сонячного опалення. На дослідному рівні знаходяться баки-акумулятори, які використовують матеріали із фазовим переходом. Основною перевагою подібних баків-акумуляторів є їхня компактність.



Рис.2.3 Класифікація матеріалів які використовуються для акумуляції теплової енергії

Бак-акумулятор, що використовує фізичне тепло. Для застосування сонячних установок у побуті розроблені водяні, галькові та інші системи, що акумулюють. Об'єм (ємність) акумульованої енергії залежить від маси матеріалу, температури та коефіцієнта теплоємності. Для матеріалів, що використовуються в подібних баках-акумуляторах, важливе значення мають коефіцієнт теплоємності та об'ємний коефіцієнт теплоємності (або густина речовини). Наприклад, якщо взяти бак-акумулятор ємністю 1000 літрів, що використовує воду як акумулюючий матеріал, то можна зберегти 205 МДж, нагріваючи воду з 20°C до 70°C.

$$Q_{\text{води}} = c_{\text{води}} \cdot m_{\text{води}} \cdot \Delta T_{\text{води}} = c_{v,\text{води}} \cdot V_{\text{води}} \cdot \Delta T_{\text{води}} =$$

$$= 4100 \cdot 1 \cdot 50 = 205 \cdot 10^{3}$$

де $Q_{\text{води}}$ - запасена енергія у воді, кДж; $c_{\text{води}}$ - питома теплоємність води, кДж/(кг · К);

$c_{v,\text{води}} = c_{\text{води}} \cdot \rho_{\text{води}}$ - об'ємна теплоємність води, кДж/(кг · К);

$\rho_{\text{води}}$ - щільність води, кг/м^3;

$m_{\text{води}}$ - маса води, кг;

$V_{\text{води}}$ - обсяг води, м^3;

$\Delta T_{\text{води}}$ - різниця температур води, К.

У табл. 2.1 наведено різні матеріали, їх температурні проміжки застосування та питома та об'ємна теплоємності. Об'ємна теплоємність також є важливим параметром матеріалу, оскільки велика енергетична ємність і невеликий обсяг означає компактність бака-акумулятора. Особливо останнім часом величезну важливість має створення сезонних акумуляторів, що мають значну енергоємність, але займають невеликий обсяг, для економії простору в будинку.

Табл 2.1 Матеріали та їх фізичні властивості

Назва матеріалу	Застосування при температурі, °С	Питома теплоємність, кДж/(кг · К)	Об'ємна теплоємність, кДж/(м^3 · К)
Вода (1 бар)	0-100	4,19	4100
Вода (100 бар)	0-180	4,19	3700
Вода/етиленгліколь	-10-100	3,5	3500
Вода/розчин натру (50%/50%)	20-140	3,3	5060
Розчин нітрату	150-450	1,3	2300
Рідкий натрій	110-800	1,3	940

Галька/пісок	до 700	1,3	1900
Граніт	до 800	0,75	2050
Бетон	до 500	0,9	1800
Алюміній	до 600	0,92	2500
Мідь	до 1000	0,39	3200
Чавун	до 1000	0,55	3900
Сталь	до 1000	0,46	3600
Шамот/вогнетривкий матеріал	до 1200	1,0	2300

Одним з найпоширеніших баків-акумуляторів у сонячних установках є водяний бак-акумулятор. В даний час у більшості випадків використовуються водяні баки-акумулятори, що дозволяють акумулювати енергію на кілька днів, а також використовуються сезонні баки-акумулятори, що дозволяють запасати енергію в літній час та використовувати її взимку. Енергія, що отримується за рахунок перетворення сонячної радіації за «сонячним контуром» через внутрішній теплообмінник, передається в бак-акумулятор. Теплообмінник сонячного контуру розташовується в нижній частині бака-акумулятора, що дозволяє ефективно нагрівати весь об'єм бака. З іншого боку, за рахунок стратифікації (розшарування води за температурами) забезпечується низька температура на вході в колектор, тим самим підвищується його ефективність.

Стратифікація є одним із важливих механізмів створення ефективного використання бака-акумулятора. Розшарування води за температурами відбувається за рахунок природних фізичних властивостей води-зменшення щільності води зі зростанням температури. Вода, нагріваючись у баку-акумуляторі, природним чином розподіляється, так що менш нагріта вода розташована в нижній частині бака-акумулятора, а нагріта - у верхній

частині. Пряма подача холодної води та споживання нагрітої води з бака-акумулятора руйнують шари, тому є ряд пристроїв, що дозволяють зберегти розшарування в баку-акумуляторі[4].

Об'єм бака-акумулятора, розташований нижче теплообмінника сонячного контуру, називається мертвим об'ємом. Об'єм води, розташованої в «мертвому обсязі», не бере участі для накопичення енергії, тому при проектуванні водяних баків-акумуляторів він має бути найменшим. Об'єм бака-акумулятора від мертвого об'єму до теплообмінника додаткової топки є об'ємом, що нагрівається тільки за рахунок сонячної енергії. Цей об'єм є найбільшим у баку-акумуляторі. Об'єм води від теплообмінника контуру додаткової топки до верхньої основи є обсягом для додаткової топки, який нагрівається крім сонячної радіації також за рахунок газового пальника, електрики. Розташування теплообмінника контуру додаткової топки дозволяє догрівати воду у верхній частині бака-акумулятора до температури, необхідної для споживача. Як видно з малюнка, нагрівання за рахунок топки-дублера (електрика, газ тощо) відбувається не для всього бака-акумулятора, а лише його верхньої частини.

Бак-акумулятор, що використовує "приховане тепло". Під прихованим теплом розуміється енергія, необхідна перетворення одного агрегатного стану на інший для даного матеріалу, що проходить за постійної температурі. Зі шкільного курсу фізики відомо, що небезпечніше обпектися 100 °C водяною парою, ніж 100 °C гарячою водою у зв'язку з тим, що в парі міститься енергія пароутворення води. Щоб розплавити 1 кг льоду та перетворити його на воду з температурою 0 °C, необхідно майже таку ж кількість енергії, щоб нагріти воду з 0 °C до 80 °C. Перевагою баків-акумуляторів, що використовують енергію фазового переходу, є їхня значна енергоємність при постійній температурі. Для матеріалів з переходом агрегатного стану (фазовий перехід) важливе значення мають енергія фазового переходу та температура, при

якому він відбувається. У табл.2.2 наведено деякі матеріали з характеристиками фазового переходу.

Табл 2.2 Матеріали із фазовим переходом

Назва матеріалу	Температура фазового переходу (плавлення), °С	Енергія плавлення, кВт год/м^3
Вода	0	93
Гідрат солі	10-110	60-170
Парафін	20-70	40-45
Жирні кислоти	15-70	30-50
Нітрати	150-300	60-190
Гідрооксид	170-400	130-190
Хлорид	380-800	160-250
Карбонат	400-900	160-360
Солі фтористоводневої кислоти	690-1260	300-800

При проектуванні баків-акумуляторів, що використовують енергію фазових переходів, необхідно технічно враховувати зміну обсягу фазового переходу. Наприклад, вода замерзаючи в кригу, розширюється на 20%.

Тепло хімічні реакції. Оборотні хімічні реакції дають можливість акумулювати теплову енергію різних джерел як Сонце, відходи теплової енергії на теплових станціях. При оборотних хімічних реакціях енергія процесу може бути акумульована у вигляді хімічної енергії. Наприклад, силікагель поглинає воду, при цьому виділяється прихована енергія пароутворення води, а при зворотному процесі для вилучення води із силікагелю необхідно підвести теплову енергію. До оборотних хімічних

систем, які за термодинамічними критеріями добре придатні до акумулювання, відносяться системи гібридів метал-метал. Особливістю таких систем акумулювання тепла є додаткове виділення водню під час заряджання бака-акумулятора. Водень, у свою чергу, можна розглядати як джерело енергії, тому така система накопичує тепло та виробляє енергоносій[5].

2.3 Інші компоненти сонячного контуру.

Сонячний контур - це сукупність компонентів, розташованих у контурі із сонячним колектором. По сонячному контуру відбувається передача сонячної енергії, перетвореної сонячним колектором на бак-акумулятор за допомогою теплоносія, що протікає в трубопроводах. На рис.2.4 представлено сонячну установку, призначену для гарячого водопостачання. До складу сонячного контуру входять сонячний колектор (1) та водяний бак-акумулятор (2), які необхідні відповідно для перетворення та накопичення сонячної енергії.

Циркуляційний насос (4) створює циркуляцію теплоносія за сонячним контуром, завдяки чому сонячна енергія передається від сонячного колектора в бак-акумулятор. Для сонячних систем гарячого водопостачання на циркуляційний насос витрачається близько 2% електроенергії від сонячної енергії, що постачається в бак-акумулятор. Циркуляційний насос вибирається залежно від гідравлічного опору всього сонячного контуру. Насос рекомендується встановлювати перед сонячним колектором. Сучасні насоси, які застосовуються для сонячних контурів, мають кілька ступенів потужності (оборотів), зазвичай 3-4. Подібне регулювання потужності насоса дозволяє варіювати витрату теплоносія у сонячному контурі. Повітрозбірник (5) призначений для видалення повітря із сонячного контуру.

Повітрозкидники повинні бути розташовані у вищій точці сонячного контуру і, при необхідності, у складних перегинах. При заповненні сонячного

контуру теплоносієм через зливний вентиль (10) повітроскидники повинні знаходитись у відкритому положенні.

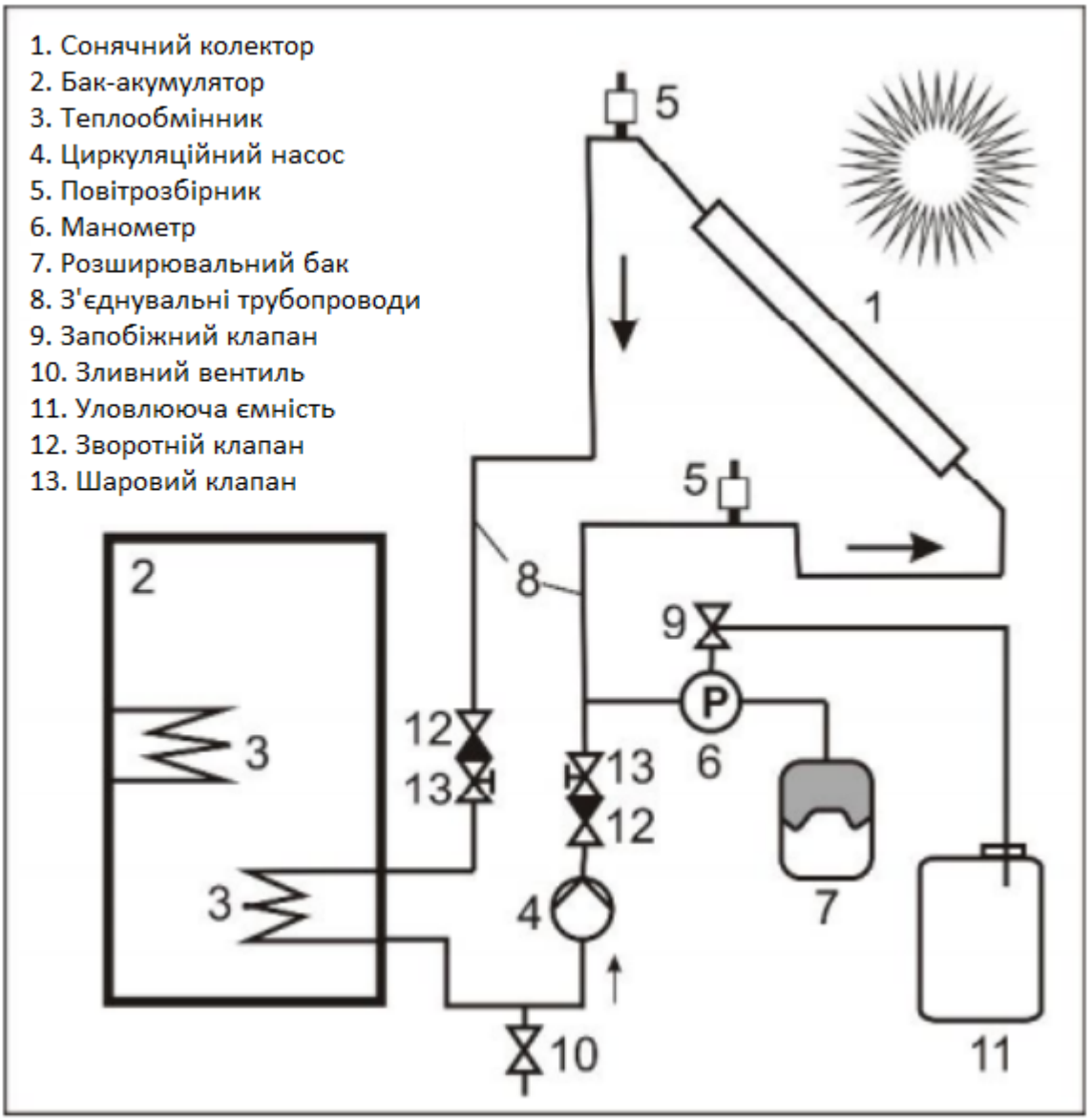


Рис.2.4 Компоненти сонячного контуру сонячної установки для гарячого водопостачання

У міру наповнення сонячного контуру теплоносієм повітря витравлюватиметься через повітроскидники, після заповнення контуру повітроскиди закриваються. Протягом перших днів рекомендується також виробляти скидання повітря через повітроскидники. Це пов'язано, що зі збільшенням температури розчинність повітря в рідині падає[6].

Повітрозкидник рекомендується встановлювати в місцях із сприятливими умовами відокремлення повітря від рідини. На рис.2.5 зображено три різні варіанти підключення повітроскидника в сонячний контур. Третій випадок не рекомендуємо і позначаємо як «погано», другий випадок можливий, перший випадок є оптимальним у зв'язку з тим, що в місці розташування скидається повітроскидника найменша швидкість теплоносія.

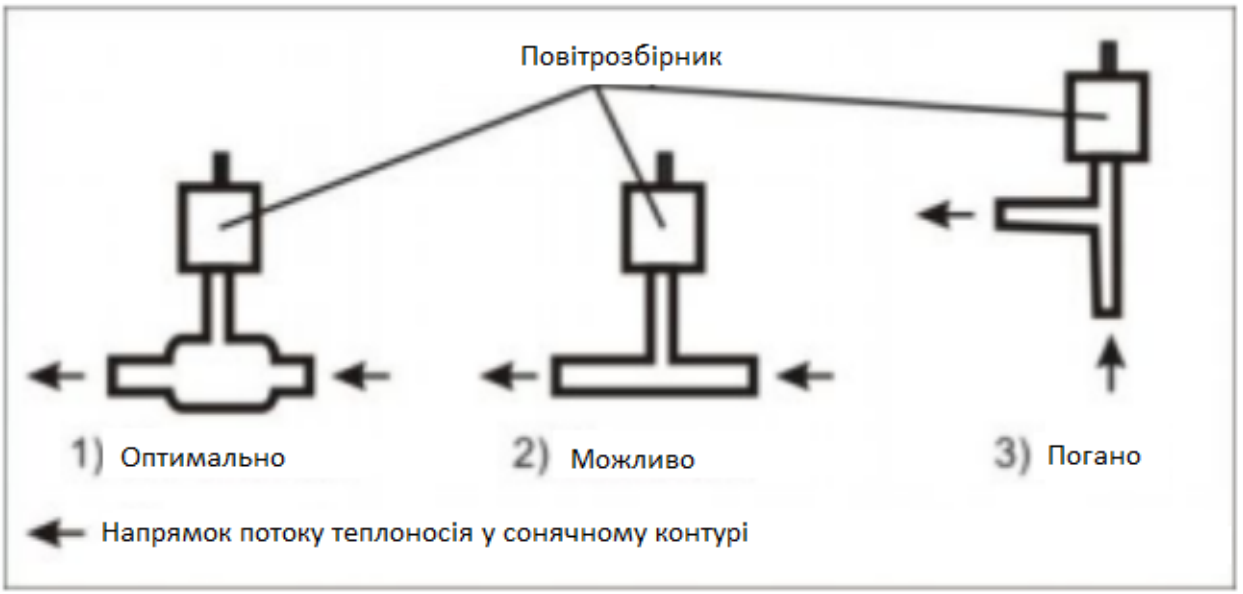


Рис.2.5 Можливе розташування повітроскидника у сонячному контурі

Манометр (6) - вимірювальний прилад, призначений для вимірювання тиску в контурі. Для побутових сонячних установок гарячого водопостачання робочий тиск складає близько 3 бар.

Розширювальний бак (7) є необхідним компонентом сонячної установки, обсяг якого повинен враховувати температурне розширення всього об'єму теплоносія сонячного контуру, а також можливості пароутворення сонячного колектора внаслідок припинення функціонування циркуляційного насоса. Об'єм розширювального бака можна вважати наступним чином:

$$V_{\text{рб}} = V_{\text{роз}} + V_{\text{пр}} + V_{\text{рез}};$$

де $V_{рб}$ - обсяг розширювального бака, м^3;

$V_{роз}$ - обсяг, пов'язаний з тепловим розширенням всього теплоносія сонячного контуру, м^3;

$V_{пр}$ - обсяг пов'язаний з можливим пароутворенням теплоносія в результаті зупинки циркуляційного насоса, м^3;

$V_{рез}$ - резервний об'єм, що підтримує роботу розширювального бака при більшому тиску, м^3.

Розрахунок трьох вище зазначених обсягів ведеться за такими формулами:

$$V_{роз} = \frac{(\rho_{хол} - \rho_{гар})}{\rho_{гар}} \cdot V_{сон.к} = 0,07 \div 0,1 \cdot V_{сон.к};$$

де $V_{сон.к}$ - обсяг теплоносія у сонячному контурі, м^3;

$\rho_{хол}$ - щільність теплоносія у холодному стані, кг/м^3;

$\rho_{гар}$ - щільність теплоносія у нагрітому стані, кг/м^3;

$$V_{пр} = 1,1 \cdot V_{кол}$$

де $V_{кол}$ - об'єм теплоносія в сонячному колекторі, м^3;

$$V_{рез} = (0,01 \div 0,1) \cdot V_{кол}$$

На рис.2.6 показано правильне та неправильне підключення розширювального бака в сонячний контур. Необхідно підключати розширювальний бак таким чином, щоб нагрітий теплоносій не досяг мембрани. Тому найчастіше розширювальний бак знаходиться у «підвішеному» стані і виключно перед входом у сонячний колектор. У міру нагрівання щільність теплоносія падає відповідно підвищується його об'єм теплоносія. Теплоносій, що розширився, тисне на мембрану, стискаючи азот або повітря в розширювальному баку. Чим вище температура теплоносія в

сонячному контурі, тим нижче положення мембрани. За допомогою вентиля можна налаштувати тиск азоту або повітря в сонячній установці.

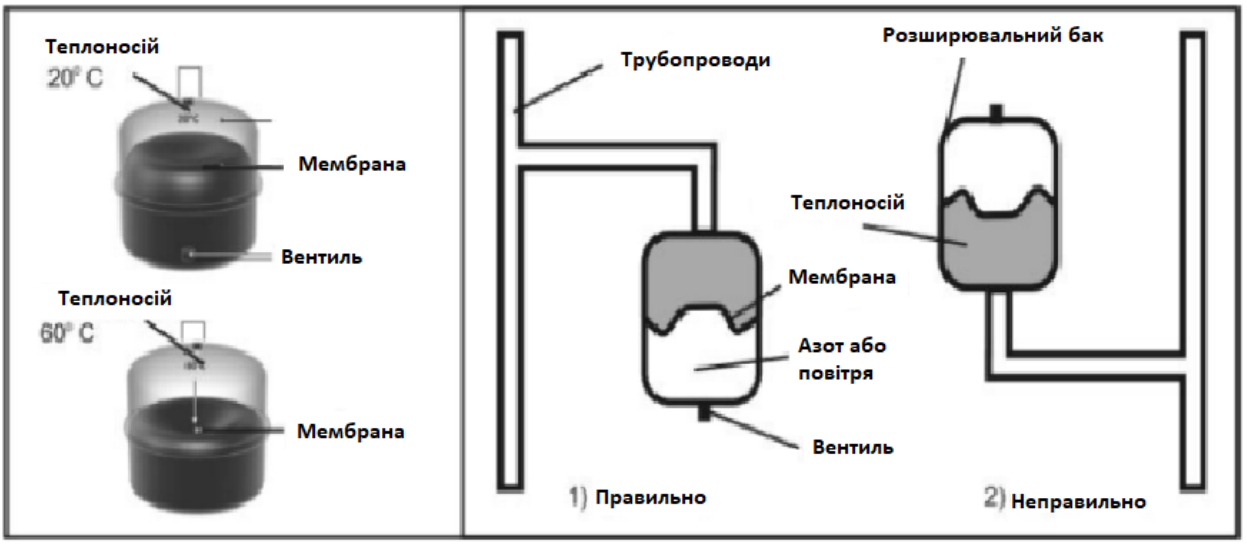


Рис.2.6 Підключення розширювального бака до сонячного контуру

Станція сонячного контуру є компактно зібраний елемент, що включає: насос, зворотний клапан, манометр, запобіжний клапан, розширювальний бак. Станція сонячного контуру дуже зручна та компактна при монтажі сонячної установки[7].

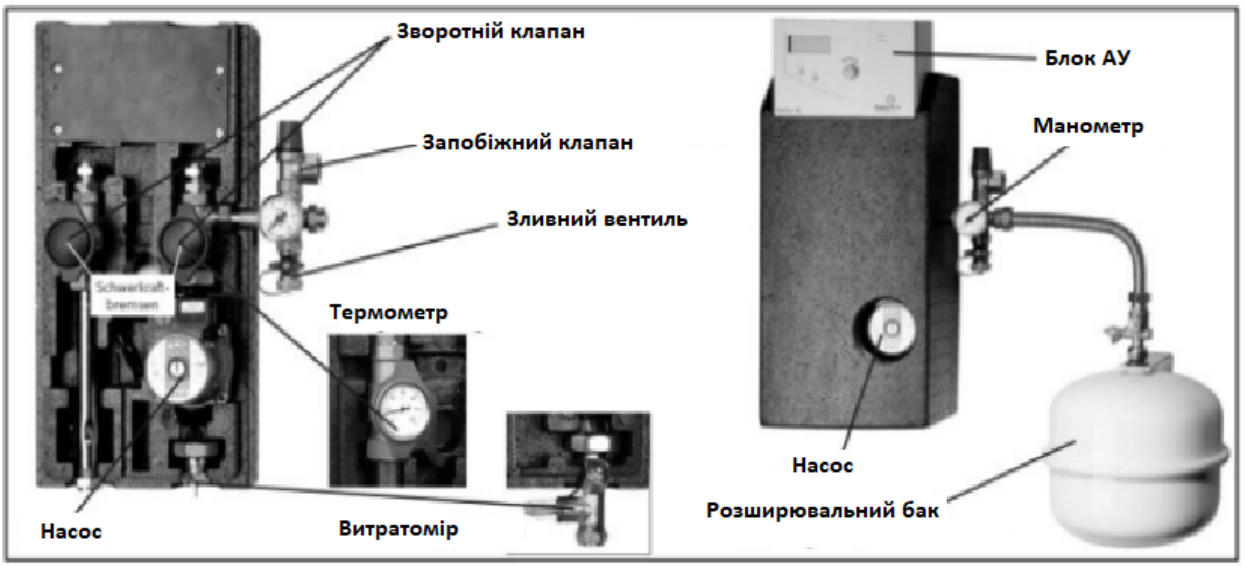


Рис.2.7 Станція сонячного контуру

Блок АУ (автоматизоване керування) – це так званий «мозок» станції сонячного контуру, який відповідає за контроль та керування сонячною

установкою, завдяки чому досягається її ефективна робота. Наприклад, блок АУ порівнює температури з датчиків бака-акумулятора та виходу з колектора та за допомогою реле включає або відключає циркуляційний насос.

Трубопроводи (8) з'єднують окремі компоненти сонячного контуру, зокрема сонячний колектор з баком-акумулятором. Матеріал трубопроводів залежить від габаритів сонячної установки, також від сонячного колектора.

Для сонячних установок гарячого водопостачання рекомендуються мідні трубопроводи, які є корозійностійкими, а також довговічними і добре витримують високі температури. Навіть якщо сонячна установка, що проектується, розрахована на максимальну температуру теплоносія не вище 90 °С, не рекомендується встановлювати металопластикові трубопроводи. За рахунок перепаду температур теплоносія місця стиків металопластикових труб стають менш щільними, що призводить до витоку теплоносія. Трубопроводи сонячного контуру обов'язково мають бути теплоізольованими.

Запобіжний клапан (9) необхідний для сонячних установок, особливо для комбінованих сонячних систем опалення та гарячого водопостачання. Запобіжний клапан повинен автоматично відкритися при досягненні критичного тиску в сонячному контурі, щоб уникнути пошкодження окремих компонентів сонячної установки. При стагнації підвищується тиск у сонячному контурі, на що в першу чергу реагує розширювальний бак, який згладжує тиск, але якщо тиск вищий за критичний (зазвичай для установок гарячого водопостачання 4-6 бар), то відкривається запобіжний клапан, через нього виходить теплоносій в рідкому або газоподібному стані і потрапляє в ємність, що вловлюється (11). Між сонячним колектором та запобіжним клапаном не повинні розташовуватись інші компоненти, здатні створювати затор, наприклад, кульовий вентиль[8]. Трубопроводи, що з'єднують запобіжний клапан (9) і ємність, що вловлює, можуть бути без теплоізоляції.

Зливний вентиль (10) розташований у найнижчій частині сонячного контуру. Через зливний вентиль відбувається заповнення сонячного контуру, а також його спорожнення (злив). При заповненні та випорожненні сонячного контуру повітроскидники повинні знаходитися у відкритому стані для витравлення повітря.

Зворотний клапан (12) забезпечує рух теплоносія лише в одному напрямку. Вночі у сонячному контурі при зарядженому баку-акумуляторі може виникнути природна циркуляція (рис.2.8). Теплоносій, нагріваючись за рахунок енергії, накопиченої в баку-акумуляторі, прямує вгору. Протікаючи сонячним колектором, енергія за рахунок випромінювання, теплопровідності та конвекції втрачається в навколишнє середовище, тим самим за рахунок природної циркуляції відбувається нічна розрядка бака-акумулятора. Для запобігання подібним тепловим втратам служить зворотний клапан, що забезпечує пропуск теплоносія тільки в одному напрямку.

Кульовий кран (13) дозволяє проводити профілактику ремонт компонентів, укладених між кульовими кранами, не спорожнюючи установку. Насос є одним із таких компонентів.

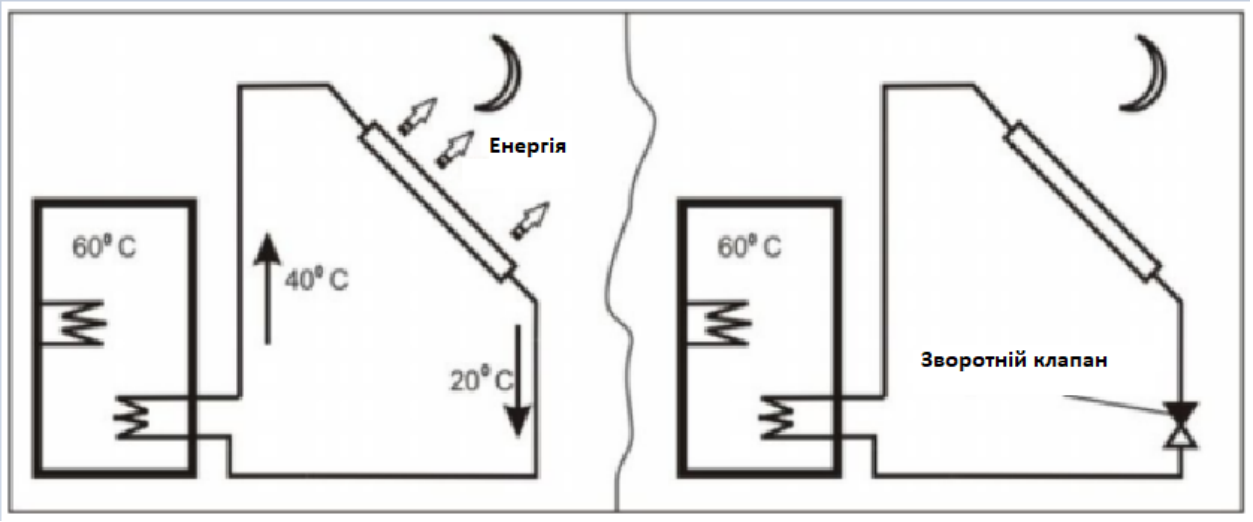


Рис.2.8 Нічна розрядка бака акумулятора та її відсутність під час встановлення зворотного клапана

2.4 Сонячні теплові установки

Сонячні теплові установки можна класифікувати за різними критеріями. Сонячні теплові установки дозволяють перетворювати сонячну енергію на теплову. Сонячні теплові установки використовуються для: підігріву басейнів; гарячого водопостачання; опалення; виробітку електрики за рахунок термодинамічного циклу[9].

Сонячні теплові установки для підігріву басейнів. Установки такого типу особливо поширені США, де приватні басейни дуже популярні. Відкриті басейни зазвичай сезонні, тобто взимку не використовуються. Таким чином, підігрів басейнів необхідний у літній та осінній – весняний періоди, коли прихід сонячної радіації максимальний. Температура в басейнах зазвичай коливається близько 19 °C (±3 °C). Таку температуру можна отримати за допомогою простого, дешевого та довговічного нескленого колектора – абсорбера. Сонячна теплова установка для підігріву басейнів складається лише з абсорбера та насоса, що створює циркуляцію. На рис. 2.9 представлено сонячну установку для підігріву басейнів. Як видно, сонячна система дуже проста в монтажі та керуванні.

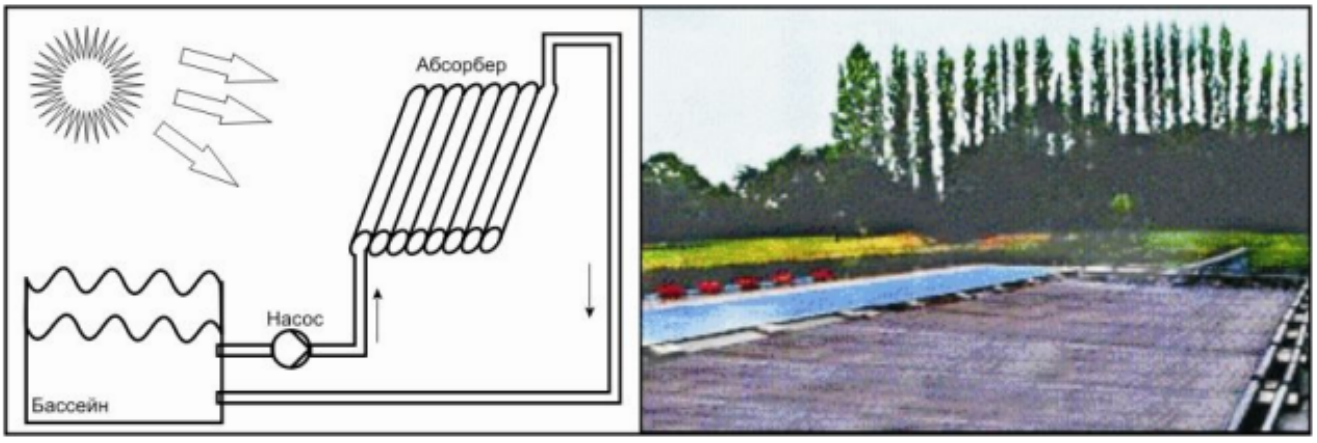


Рис.2.9 Сонячна установка для підігріву води у басейнах

Сонячна система гарячого водопостачання. Під системою гарячого водопостачання розуміється установка, що дозволяє отримувати гарячу воду, що використовується в домогосподарстві для прання, приготування їжі, душа

і т.д. Для гарячого водопостачання необхідна вода із вищою температурою порівняно з температурою води у басейні. Тому для гарячого водопостачання в основному використовуються плоскі колектори, які мають теплоізоляцію.

Найпростішою сонячною установкою для гарячого водопостачання може бути ємність, пофарбована в чорний колір і поставлена на сонці. У сільських місцевостях особливо добре відомий цей досвід, де практично кожен житель має діжку, в якій вода нагрівається протягом дня, а ввечері використовується для душу. Іншим прикладом є термосифонна установка (рис.2.10), яка використовує природну циркуляцію теплоносія. Особливість конструкції такої сонячної установки заснована на фізичному явищі, що більш нагріта вода має меншу щільність, а відповідно і легше, ніж такий самий обсяг холодної води. Термосифонна установка складається із плоского колектора та бака-акумулятора, пов'язаних між собою трубопроводами. Обов'язковою є умова, щоб нижня основа бака акумулятора була вище позначки верхньої частини плоского колектора. Вихід з колектора повинен бути з'єднаний з верхньою частиною, а вхід колектора відповідно до нижньої частини бака-акумулятора. Споживання гарячої води здійснюється через відвідний трубопровід, а поповнення - через нижній трубопровід, що підводить.

До сходу сонця циркуляція в термосифонній установці відсутня. Циркуляція з'являється після нагрівання теплоносія (води) у плоскому колекторі. При нагріванні відбувається розширення теплоносія і частина об'єму спрямовується вгору в бак-акумулятор. Це призводить до того, що гідростатичний тиск лівого трубопроводу (колектор) зменшується за рахунок зменшення густини води. Різниця тисків правого та лівого трубопроводів призводить до появи природної циркуляції. В результаті вода з нижньої основи бака-акумулятора спрямовується вниз, нагріваючись в колекторі - вгору, і таким чином здійснюється природна циркуляція. Чим більша

інтенсивність сонячного випромінювання, тим більша швидкість термосифонної циркуляції.

Подібні сонячні теплові установки поширені у Китаї. Замість плоского колектора можуть бути використані вакуумні колектори. Недоліком такої системи є її сезонне використання. У зимовий час таку установку слід спорожняти, щоб уникнути пошкодження компонентів.

Для цілорічного гарячого водопостачання застосовуються сонячні установки із примусовою циркуляцією.

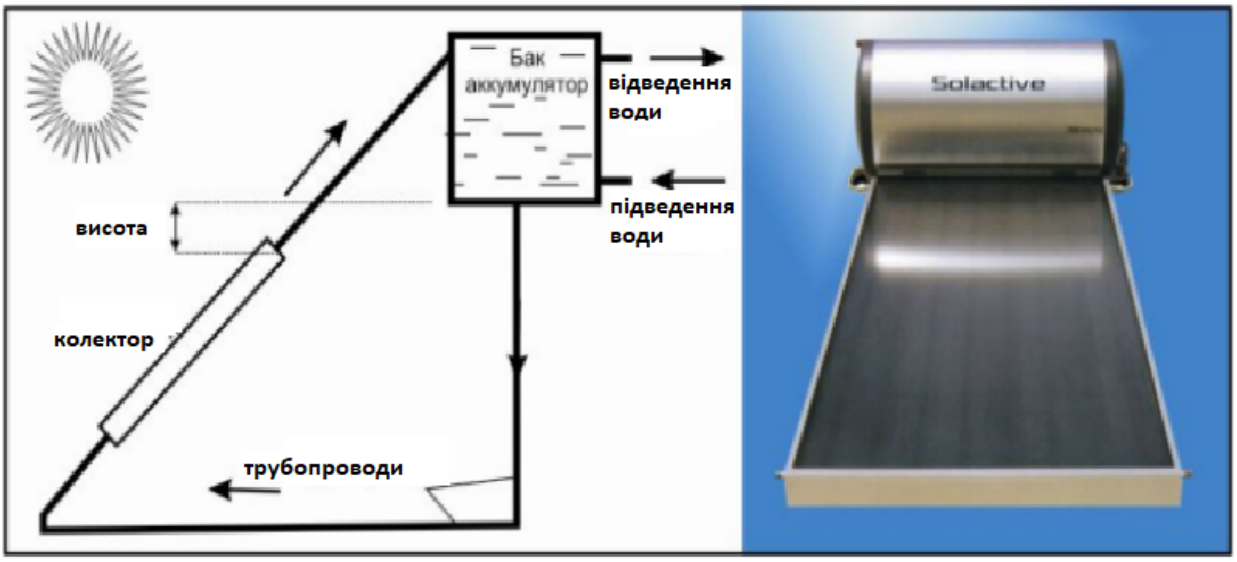


Рис.2.10 Сонячна установка для підігріву води у басейнах

Сонячна установка для гарячого водопостачання із примусовою циркуляцією.[10]

На прикладі такої установки було розглянуто компоненти сонячного контуру (рис.3.1). Як видно з малюнка, у баку-акумуляторі є теплообмінник додаткової топки. Топка забезпечує споживачеві гарячу воду, незалежно від погодних умов. Завдяки накопиченій енергії бака-акумулятора в топці відбувається нагрівання води до необхідної температури. Для оцінки кількості використання сонячної енергії у геліотехніці використовується визначення сонячного заміщення:

$$f_{\text{сон}} = \frac{Q_{\text{кільк}}}{Q_{\text{кільк}} + Q_{\text{топка}}} \cdot 100\%,$$

де $f_{\text{сон}}$ - сонячне заміщення, %;

$Q_{\text{кільк}}$ - кількість теплової енергії, отримана за рахунок сонячної установки, кВт·год;

$Q_{\text{топка}}$ - кількість теплової енергії, отримана за рахунок додаткової топки, кВт·год.

Залежно від профілю споживання гарячої води, габаритів сонячної установки, метеорологічних факторів сонячне покриття коливається у проміжку між нулем та ста відсотками. Нуль відсотків відповідає режиму коли гаряче водопостачання здійснюється виключно за рахунок традиційної енергії топки. Сто відсотків відповідає режиму, коли гаряче водопостачання здійснюється лише за рахунок сонячної енергії. Отже, для гарячого водопостачання можна спроектувати сонячну установку, завдяки якій можна забезпечувати гаряче водопостачання.

Комбінована сонячна теплова установка (комбі-система) служить для гарячого водопостачання та опалення (рис.2.11). Розмір компонентів відрізняється від сонячної установки для гарячого водопостачання. Відмінність габаритів окремих компонентів комбі-установки та установки для гарячого водопостачання пов'язана з різницею теплових навантажень. Для комбі-системи необхідно більше колекторне поле з більшим кутом нахилу, а також більший об'єм бака-аккумулятора.

Комбі-система може лише частково підтримувати традиційну опалювальну систему. Традиційна комбі-система має коефіцієнт сонячного заміщення на опалення близько 20-30%. Для хорошого теплоізольованого будинку можна досягти більшого коефіцієнта сонячного покриття для комбі-системи за рахунок зменшення потреби теплової енергії на опалення.

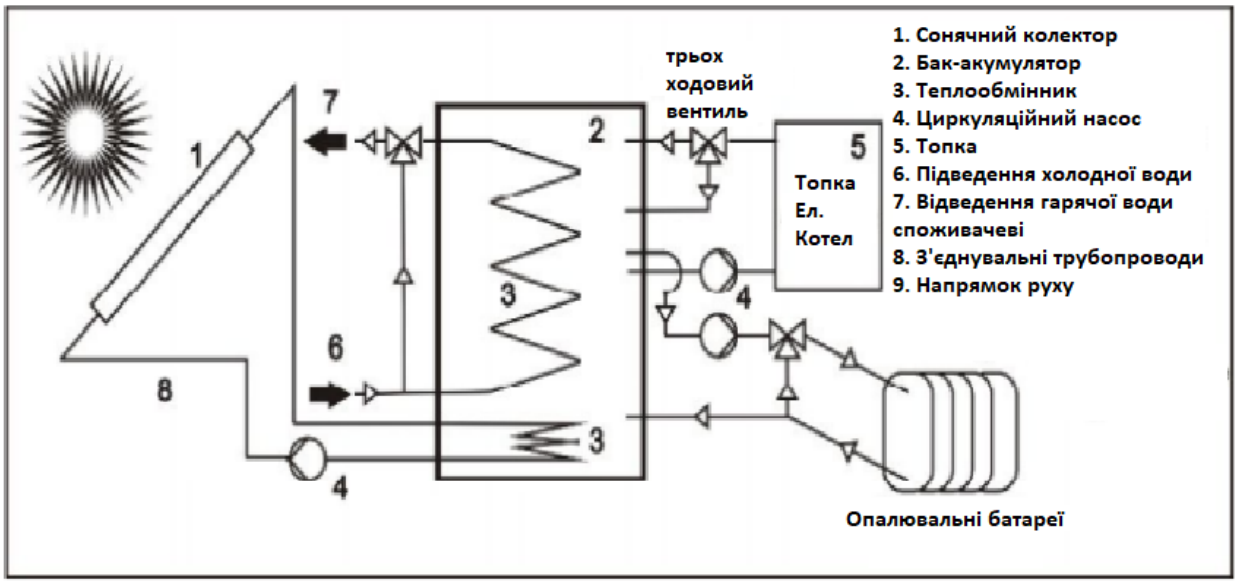


Рис. 2.11 Комбінована система гарячого водопостачання

Основна причина, що коефіцієнт сонячного заміщення досягає лише 20-30%, є «противофазність» розподілу сонячної радіації, що приходить, і потреби теплової енергії. Влітку сонячна радіація, що приходить, максимальна, а потреба теплової енергії мінімальна (лише гаряче водопостачання), взимку ж - навпаки: при мінімальній сонячній радіації, що приходить, потреба в теплі значна (гаряче водопостачання + опалення).

На рис. 2.12 показаний приклад зміни величин отриманої енергії збільшення площі сонячного колектора вдвічі. Якщо прийняти, що початкова сонячна комбі-система із площею сонячного колектора S ($м^2$), забезпечувала сонячне покриття 25% (крива знизу), то при подвоєнні площі колектора сонячне покриття зросло приблизно 35%. Для комбінованих сонячних систем економічна ефективність використання сонячного колектора подає зі збільшенням його площі. Як очевидно з малюнка, зі збільшенням площі сонячного колектора вдвічі потреба енергії змінюється незначно (сіра площа).

Сонячні системи, що концентрують. До сонячних систем, що концентрують, відносяться сонячні установки, що використовують концентрацію сонячної енергії. Сонячні системи, що концентрують, використовуються виключно для отримання високих температур теплоносія.

Основне застосування сонячних концентруючих систем – це промисловість та отримання електрики за рахунок термодинамічних циклів. Відомо чотири основні види концентруючих сонячних систем для електроенергії: сонячна система баштового типу, лінза Френеля, параболічний увігнутий (об'ємний) концентратор з двигуном Стірлінга, система з плоскими параболическими концентраторами.[11]

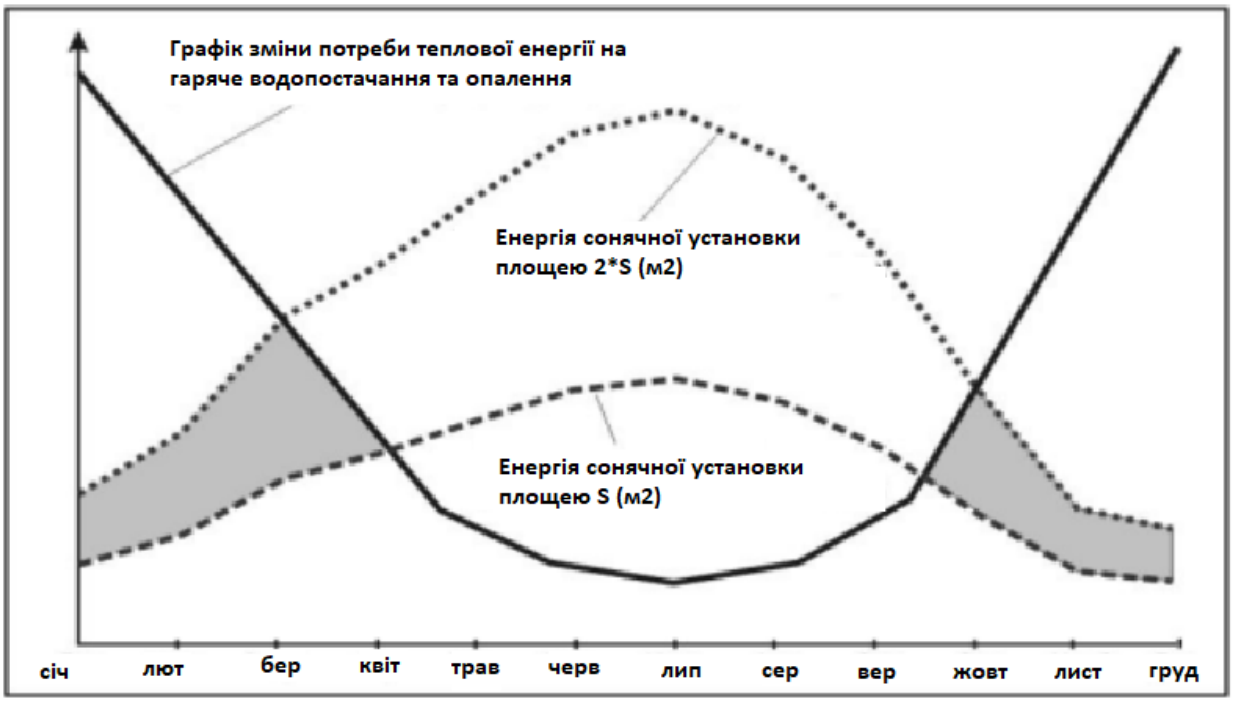


Рис.2.12 Сезонна зміна теплового навантаження і сонячної радіації, що приходить.

Концентратор Френеля (Лінзи Френеля, рис.2.13). Концентратор Френеля є дуже простою конструкцією. Він складається з плоских дзеркал, здатних обертатися незалежно один від одного, та приймача (абсорбера), розташованого над плоскими дзеркалами. Декілька прототипів вже існують і досліджуються вченими. Були спроби у фокусі встановлювати і фотоелектричний-тепловий модуль.



Рис. 2.13 Концентратор Френеля

Сонячна енергетична станція баштового типу (рис.2.14). Подібна станція складається з центрального приймача, що розташований на вершині вежі, та дзеркал-геліостатів, що відбивають сонячну радіацію. При високому рівні концентрації сонячної радіації в приймачі може бути отримана пара високої температури. Далі процес виробництва електроенергії подібний до процесу на теплових електростанціях, за рахунок термодинамічного циклу. Пара надходить у турбіну, де відбувається перетворення теплової енергії пари на механічну енергію обертання валу. З валом з'єднаний ротор генератора, таким чином відбувається трансформація механічної енергії в електричну. Практична реалізація сонячних енергетичних станцій баштового типу розпочалася ще понад 50 років тому. У 1980 роках вони отримали найбільший розвиток у світі через переваги в порівнянні з іншими сонячними тепловими станціями. На сьогоднішній день промислова установка є в Севільї (Іспанія).[12]

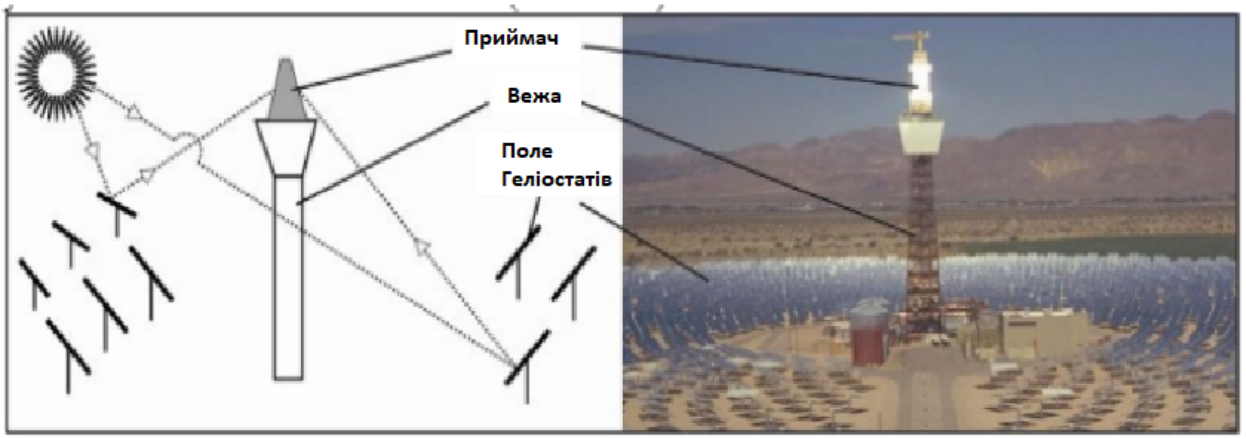


Рис. 2.14 Сонячна система баштового типу (сонячна вежа)

Система із плоскими параболічними концентраторами. Подібні системи вже добре розвинені в США, де є низка сонячних теплових станцій. Сонячна система складається із плоских параболічних концентраторів, послідовно з'єднаних один з одним. У фокусі параболи розташований приймач (абсорбер), зроблений у вигляді трубопроводу, яким циркулює теплоносій – рідка сіль. Теплова енергія від теплоносія передається на інший замкнутий контур, де циркулює вода. У цьому контурі вода перетворюється на пару і за відомим термодинамічний цикл – «тепло» перетворюється на механічну, а далі - на електричну енергію.

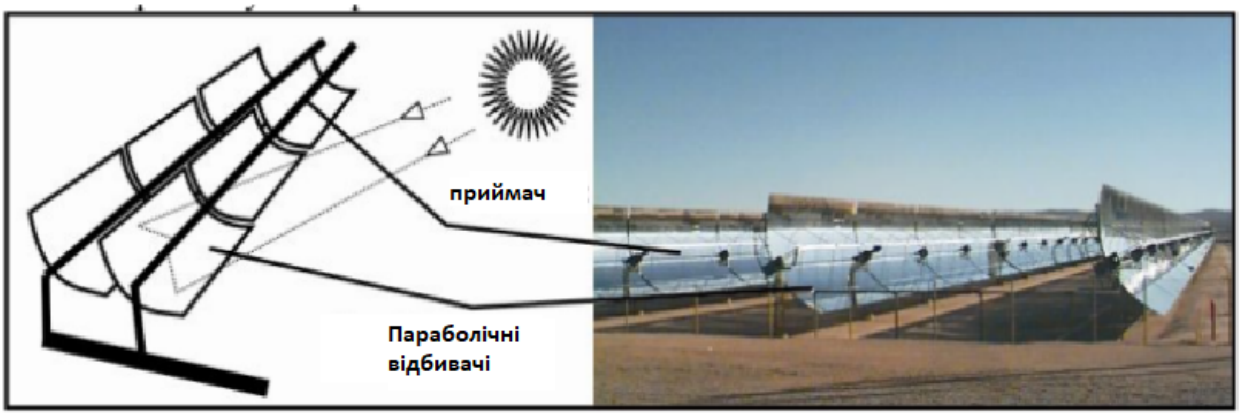


Рис. 2.15 Сонячна плоска параболічна система

Параболічний увігнутий концентратор із двигуном Стірлінга («Стерлінгова тарілка»).

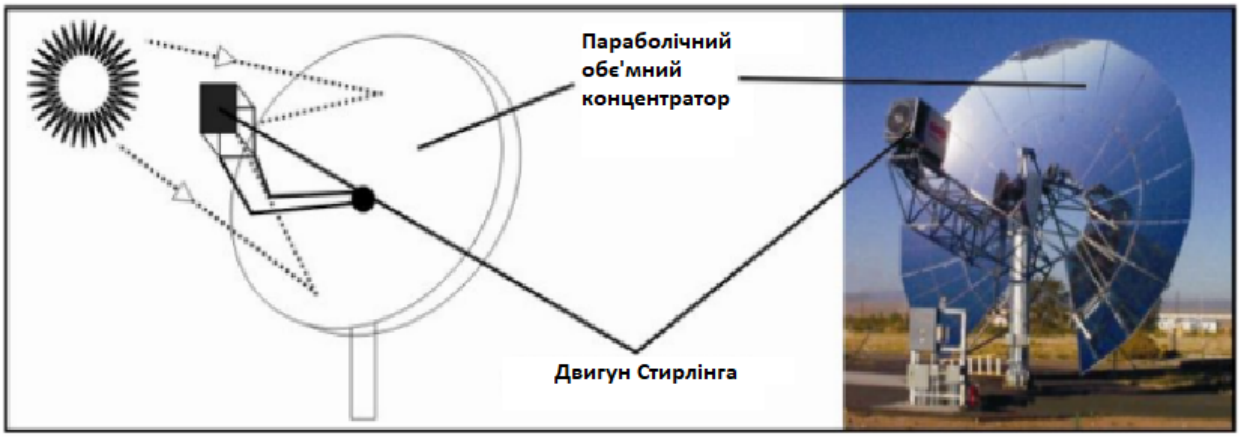


Рис.2.16 Параболічна система з двигуном Стирлінга

Відмінність відбивача даної сонячної системи від системи з плоским параболічним перетворювачем полягає у його формі. Відбивач цієї системи нагадує за своєю формою тарілку, тому з англійської дослівно перекладена назва системи «Стирлінгова тарілка». У фокусі параболоциліндричного відбивача розташований двигун Стірлінга. За рахунок термодинамічного процесу (цикл Стірлінга) відбувається перетворення теплової енергії на механічну, потім - на електричну.[13]

Унікальна сонячна піч була побудована ще за радянських часів в Уз. РСР загальною потужністю 1 МВт (рис.2.17).

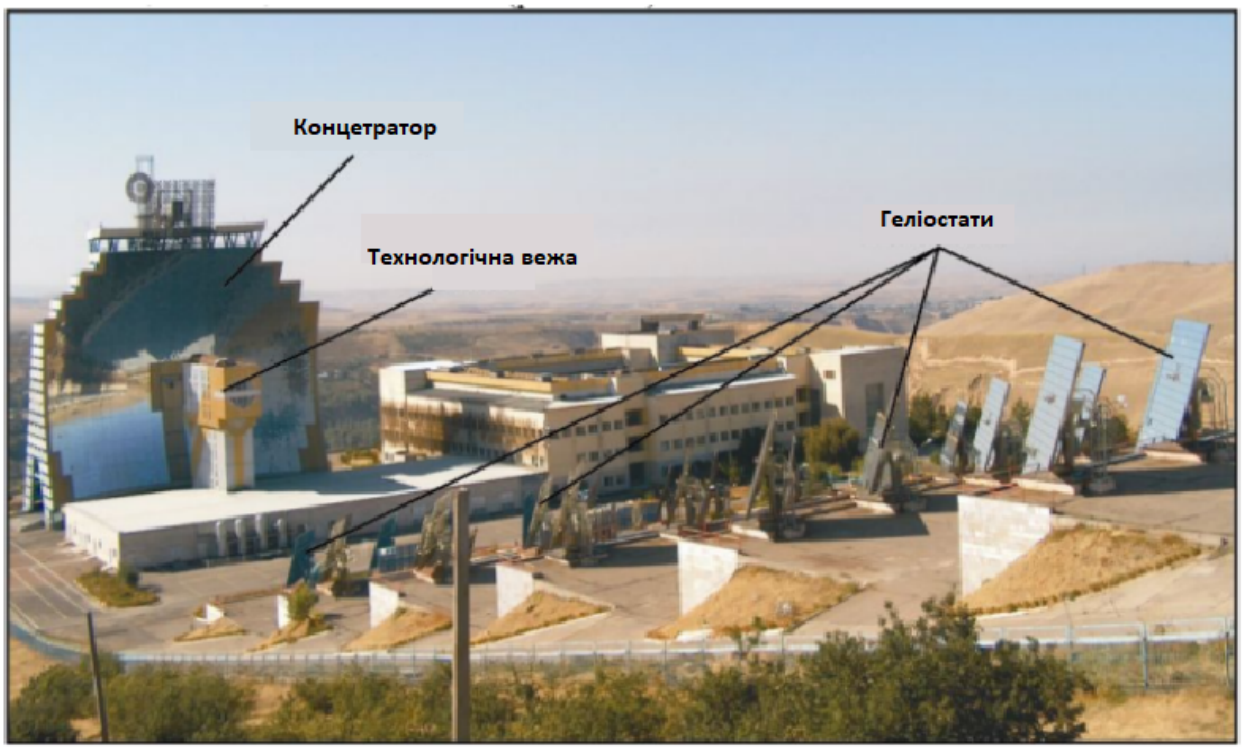


Рис.2.17 Сонячна піч в Узбекистані

За допомогою плоских концентраторів у фокусі досягаються дуже високі температури. Велика сонячна піч (ВСП) є складним оптико-механічним комплексом з автоматичною системою управління, що складається з геліостатного поля і параболоїдного концентратора, що формують у фокальній зоні концентратора (технологічна вежа) променистий стаціонарний потік високої щільності. Поверхня геліостатного поля, що відбиває, становить 3022,5 м^2, а концентратора - 1840 м^2. Концентратор фокусує відбиті геліостатним полем сонячні промені на фокальну зону діаметром 1 м, де створюється високоенергійна область. Фокальна область розташована в технологічній вежі, де встановлюються спеціальні прилади та обладнання, що дозволяють досліджувати фізико-хімічні процеси, що протікають при високотемпературному впливі на речовини.[14]

Мультикомпонентна повітряно-водяна сонячна енергетична установка (МПВСУ) була розроблена спільно силами Кассельського університету та КДТУ ім. Раззакова, у рамках міжнародного наукового проекту. Прототип

установки було впроваджено на котельні «Ротор», що знаходиться в Бішкеку (КР). Установка здатна перетворювати енергію двох основних джерел енергії: сонячна радіація та ентальпія навколишнього повітря. Таке рішення дозволяє сезонній сонячній енергетичній установці підтримувати працездатність у нічний час. Установка складається з трьох основних компонентів: повітряний колектор (1), теплообмінник вода-повітря (4) та абсорбер (3) функціонує описаним нижче чином.

Вихідна вода з підземного або поверхневого вододжерела подається насосом (6) трубопроводами (8) в теплообмінник вода-повітря (4). Одночасно під впливом сонячної радіації нагрівається поверхня повітряного колектора (1). Його конструкція є листами перфорованої сталі з отворами (2), яка проста для монтажу як на фасадну частину будівлі, так і на дах. За допомогою вентилятора (5) через отвори всмоктує прикордонне з повітряним колектором тепле повітря, яке, проходячи повітряним колектором у вимушеній конвекції, забирає тепло колектора.[15]

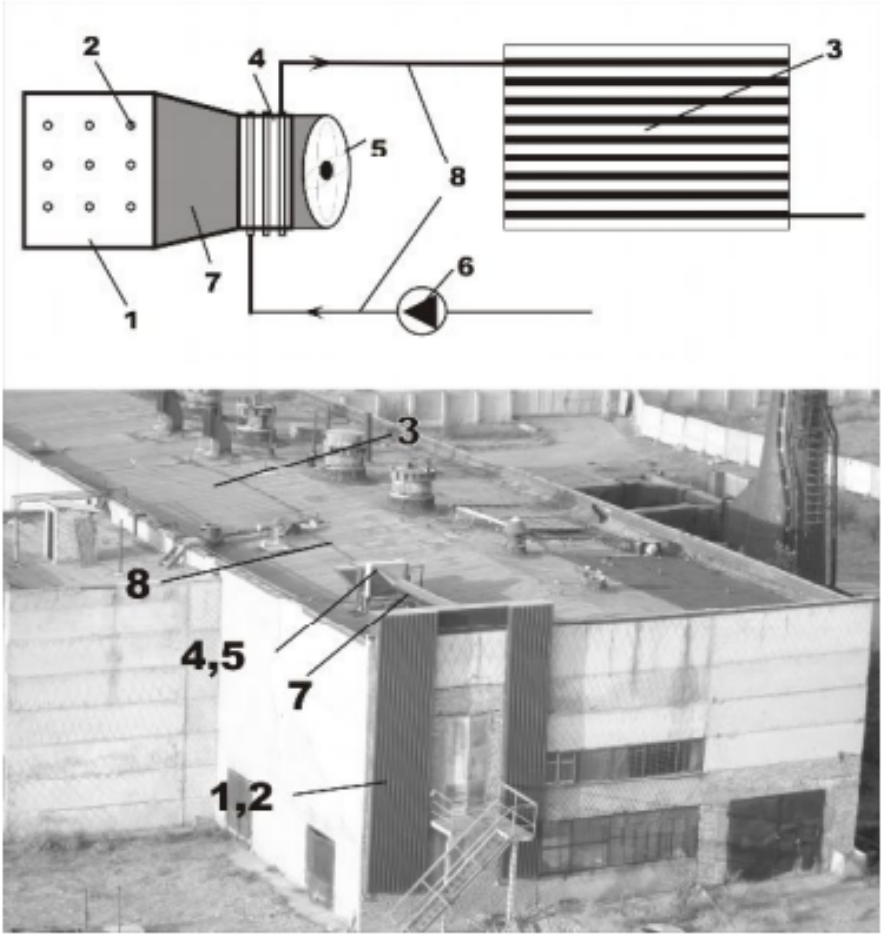


Рис.2.18 Експериментальна МПВСУ на котельні «Джал», Бішкек, (Киргизстан)

При цьому для електроживлення вентилятора витрачається мізерна енергія, в порядку 0.1 Вт на 1 $м^3$ повітря, що проганяється. Тепле повітря, обдаючи змійовик теплообмінника, нагріває воду, що протікає в ньому. Результати експерименту показали, що навіть уночі у весняно-осінній період відбувається нагрівання води за рахунок різниці температур довкілля та води. Утилізуючи ентальпію повітря, установка отримує додаткову енергію з навколишнього середовища, що робить установку ефективною та працездатною навіть у нічний час. З теплообмінника вода далі надходить абсорбер (3). За рахунок відсутності скла конвективна теплопередача між повітрям та абсорбером є значною. Вночі можна отримати до 0.1 кВт с/$м^2$ площі.[16]

3. Пасивне використання сонячної енергії

3.1 Пасивні сонячні теплові системи

ПСТС - це безпосередньо спроектовані елементи конструкцій будівель, що дозволяють оптимально використовувати сонячну енергію. Такі будівлі практично не вимагають додаткових витрат на експлуатацію, автоматично сприймають, перетворюють та акумулюють сонячну енергію.

Пасивні сонячні теплові системи дозволяють скоротити потребу енергії будівлі за рахунок збільшення споживання сонячної енергії та забезпечити комфортні умови у приміщенні.[17]

Будь-які пасивні сонячні теплові системи повинні відповідати таким вимогам:

1) значні розміри вікон на південній та практичну їх відсутність на північній сторонах (дійсно для всіх будівель північної півкулі);

2) наявність елементів, що затіняють (покрівля даху, виступи балконів) для запобігання перегріву кімнат будівлі в літній період;

3) компактність будівлі. Під компактністю будівлі розуміється відношення площі поверхні теплообміну будівлі до опалювального об'єму. Чим компактніший будинок, тим менші його теплові втрати;

4) достатня інертність будівлі чи термальна маса будівлі. Елементи конструкцій будівель повинні мати достатню теплоємність, оскільки саме вони відіграють роль «акумулятора енергії». Крім того, термальна маса згладжує коливання різниці температур навколишнього повітря та всередині кімнати;

5) гарна теплоізоляція будівлі. Теплоізольована будівля зменшує потребу в тепловій енергії взимку;

6) орієнтація будівлі;

7) форма та матеріал даху.

По суті, будь-яка житлова будова є пасивною сонячною тепловою системою, проте деякі більш ефективні у використанні сонячної енергії. Такі поняття як «пасивний будинок», «сонячний будинок», «будинок із низьким енергоспоживанням» безпосередньо характеризують ефективність пасивних систем сонячного теплопостачання.

3.2 Народні методи будівництва. Традиційне житло

Застосування природних чи штучних будівельних матеріалів залежить не тільки від геологічних, а й від кліматичних особливостей регіону. Масивні плоскі дахи з високою термічною ємністю притаманні умовам пустельного клімату рис.3.1.

Вони підтримуються дерев'яними балками, поверх яких настилаються хмиз і пальмові стовбури і т.д. Наприклад, легкі, компактні будівлі кочівників - юрти збираються зі шкур, тканини та повсті; ескімоси використовують лід та сніг для будівництва традиційного житла – іглу.[18]



Рис.3.1 Традиційне житло в залежності від геологічних та кліматичних факторів

Або архітектура Середнього Сходу, де всі будинки мають внутрішні двори. Перші такі будинки знайдені в Урі (2000 до н.е.), вони зустрічаються в Центральній Анатолії, Північній Африці та Месопотамії. Будинки,

розташовані по обидва боки вулиці, мають внутрішні двері, а задні фасади та бічні стіни сусідніх будинків примикають один до одного. Ширина вулиць така, що тут навіть опівдні у середині літа фасади не піддаються дії прямої сонячної радіації. Внутрішні двори розташовані вище фундаменту – будинки переважно двоповерхові з фундаментом і піднятим парапетом навколо плоского даху.[19] Стіни та дах – масивні, що забезпечує термічне запізнення за часом. Тепло, накопичене внутрішнім двором вдень, вночі йде в простір завдяки довгохвильовому випромінюванню. Через вузькі вулиці, високе розташування внутрішніх дворів і відсутність отворів у зовнішніх стінах охолоджувальну дію вітру невелика і створюють його пристроєм спеціального вітрозбірника. Вітрозбірник є отвір під дахом, під кутом 45°, спрямоване назустріч переважаючому вітру. Повітря, що потрапило сюди, під тиском вітру проникає вниз через проходи шириною 900-1200 мм в загальну кімнату, що знаходиться в підвалі, яка використовується в спеку після полудня. Потік вітру, так само як і конвективні струми повітря, які при зіткненні з масивною частиною стіни, що постійно затінюється, охолоджуються, змушуючи прохолодне повітря опускатися. Вриті в землю під підлогою глеки з водою охолоджуються потоками повітря за рахунок випаровування води, що сприяє підвищенню вологості повітря, що вентилюється. У деяких районах Середнього Сходу вода з глеків пропускається через пористий шар з вугілля над резервуаром з водою, внаслідок чого відбувається подальше випаровування.

Від клімату пустель значно відрізняється клімат вологих тропіків. Тут традиційний будинок легкий, споруджений із дерев'яних рам із дахами із пальмового листя. Будинок піднятий на палях. Нагромадження тепла тут було б руйнівним, т.к. холодний бриз не встигає остудити житло. Стіни затінюються широкими навісами дахів та посадкою дерев навколо будинку. Тінь біля будинку створює прохолодний простір з нижчою температурою

поверхні ґрунту, що сприяє охолодженню нижньої поверхні підлоги за рахунок випромінювання та охолодження повітря під будинком.[20]

Третій приклад споруди – ескімоське голку, пристосоване для умов надзвичайно холодного клімату. Стіни із сухого снігу завтовшки 500 мм забезпечують хорошу теплоізоляцію. Форма ідеальна для серйозних умов, т.к. вона забезпечує мінімум поверхні на одиницю об'єму. З погляду аеродинаміки, форма також чудова, тому що чинить вітру невеликий опір, а звідси і менші втрати тепла. Точкове джерело тепла здатне нагрівати голку рівномірно. Під дією тепла внутрішня поверхня стін підтає і утворюється скоринка льоду, яка зменшує вплив пористої структури снігу і діє як поверхня, що відбиває. Внутрішні поверхні купола та підлоги зазвичай покриваються шкурами, які не тільки збільшують теплоізоляцію, але й забезпечують високу температуру поверхні, тому втрати тепла, що випромінюється мешканцями житла, зменшуються. Обмежена вентиляція створюється невеликим отвором у середині купола, яке відривається у бік, протилежний панівному вітру. Коли температура зовнішнього повітря піднімається, зимова оселя руйнується і ескімоси переходять на інше місце.

3.3 Параметри та визначення для пасивних будинків

Для кращого розуміння характеристик як пасивних сонячних теплових систем, а й будинків загалом вводиться ряд визначень, що з теплопередачею.

Коефіцієнт U або k (Коефіцієнт теплопередачі), Вт/(м^2 · К), описує, скільки енергії за одну секунду проходить через 1м^2 поверхні при різниці температур передньої і задньої частин стіни в 1 °С. Для будь-якої стіни будинку коефіцієнт U враховує сукупність процесів тепловіддачі від повітря стіні, потім через стіну шляхом теплопровідності і знову від стіни в навколишнє повітря, Вт/(м^2 · К)

$$U = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{пов}} + \sum \frac{\delta_{ст}}{\lambda_{ст}} + \frac{1}{\alpha_{н}}},$$

де $\alpha_{пов}$ - коефіцієнт тепловіддачі повітря приміщення внутрішньої поверхні стіни, Вт/(м^2 · К); $\alpha_{н}$ - коефіцієнт тепловіддачі від зовнішньої поверхні стіни в навколишнє повітря, Вт/(м^2 · К); $\delta_{ст}$ - товщина одного з прошарків (штукатурка, цегла і т.д.) стіни, м; $\lambda_{ст}$ - коефіцієнт теплопровідності для даного прошарку стіни, Вт/(м^2 · К). У табл. 3.1 наведено коефіцієнти U для будівлі.[21]

Табл.3.1 Значення коефіцієнтів U для різних елементів будинку

Назва	Товщина, (м)	U, Вт/(м^2 · К)
Стіна бетонна без утеплювача	0,1 0,2	4,42 3,49
Стіна оштукатурена цегляна	0,054(1\2 цегли) 0,108 (1 цегла) 0,162 (1,5 цегли)	3,50 2,76 2,27
Дерев’яні стіни (сруб)	0,1 0,125	1,15 0,99
Бетонна підлога без утеплення	0,1 0,2	3,26 2,67
Подвійне скління вікна	Скло - 4мм, між 9мм	3,3

При зменшенні значення коефіцієнта U для елементів будівлі зменшуються втрати тепла взимку. Чим менший загальний коефіцієнт теплопередачі, тим краще ізольована будівля і тим менша потрібна теплова

енергія на обігрів. З табл.3.1 видно, що товщина стіни в 1 цеглу має в два рази менший коефіцієнт U, ніж бетонна стіна такої ж ширини.[22]

Термічний опір R, $м^2 \cdot$ К/Вт являє собою величину, обернено пропорційну коефіцієнту U:

$$R = \frac{1}{U} = \frac{1}{\alpha_{пов}} + \sum \frac{\delta_{ст}}{\lambda_{ст}} + \frac{1}{\alpha_{н}}.$$

Коефіцієнти термічного опору для різних будівельних матеріалів наведені у довідниках, тому на практиці доводиться їх обчислювати лише для нестандартних елементів або їх поєднань. Термічний опір безпосередньо залежить від фізичних властивостей матеріалу.

Передача теплоти повітряному прошарку відбувається за рахунок теплопровідності шару повітря, конвекції повітря в прошарку та радіації стінок, що обмежують повітряний прошарок. Тому коефіцієнт $R_{пов} = \frac{1}{\alpha_{пов}}$ для повітряних прошарків є умовною величиною, що враховує всі види передачі тепла. Термічний опір повітряних замкнутих прошарків визначають виходячи з дослідних даних.[23]

Коефіцієнт трансмісії τ. Скло властиво пропускати сонячну короткохвильову радіацію. Сонячна радіація, проходячи через скло, частково відбивається, поглинається, але більшість проходить крізь скло. Частка сонячного випромінювання, що пройшла крізь скло, по відношенню до сонячного випромінювання, що приходить, називається коефіцієнтом трансмісії (τ). Коефіцієнт трансмісії для сонячного випромінювання, що перпендикулярно падає на скло, позначимо через $\tau_{\perp}$. На рис.3.2. показано залежність коефіцієнта трансмісії для спектру хвиль, що характеризують сонячне випромінювання на земній поверхні та довгохвильове випромінювання. Сонячна радіація (інтервал 0,29 ÷ 2,5мкм), пройшовши через скло, поглинається предметами в кімнаті, підлогою та стінами, які в

свою чергу нагріваються та випускають електромагнітні хвилі, проте вже у довгохвильовому спектрі. Для скла довгохвильовий спектр є непрозорим, що призводить до парникового ефекту. Парниковий ефект був детально розглянутий у першому розділі.[24]

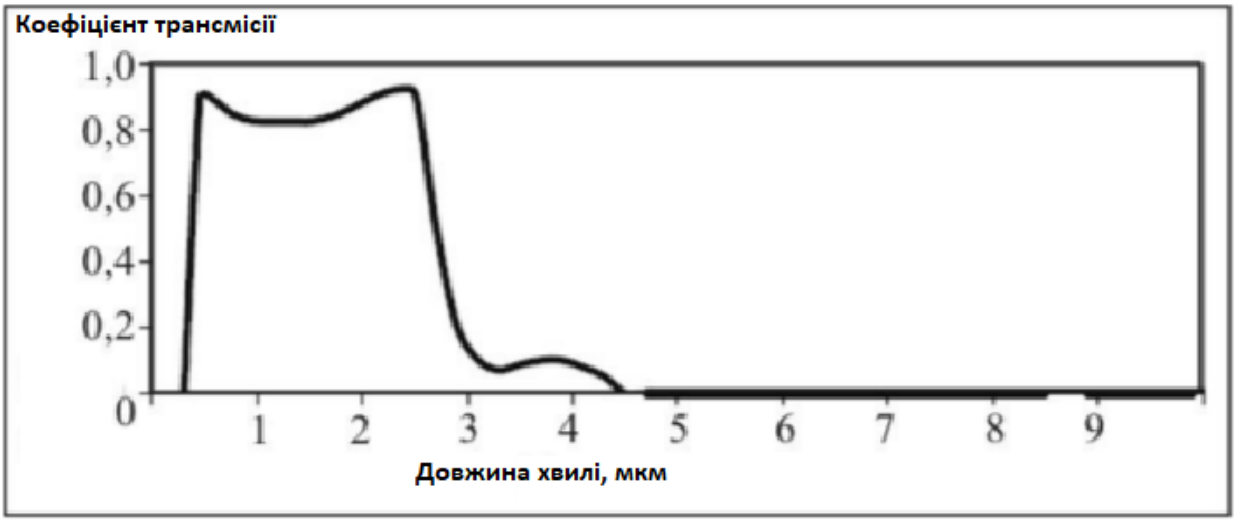


Рис.3.2 залежність коефіцієнта трансмісії від довжини хвилі для одинарного скління

Коефіцієнт вторинної тепловіддачі q_i. Вторинна тепловіддача показує, яка частина абсорбованої глобальної сонячної радіації потрапляє всередину будівлі завдяки довгохвильовому випромінюванню та конвекції. Наприклад, можна навести вікно, яке частково пропускає (коефіцієнт трансмісії), частково відбиває і поглинає сонячне випромінювання. Абсорбоване сонячне випромінювання нагріває вікно, яке потім випромінює довгохвильове випромінювання в навколишнє середовище і частково в будинок. Відношення кількості енергії, яка потрапить у будівлю за рахунок довгохвильового випромінювання і конвекції, до глобальної сонячної радіації, що приходить, і є вторинна тепловіддача q_i.

Коефіцієнт пропускання енергії g показує сумарну частину сонячної енергії, що надійшла всередину будівлі, тобто враховує коефіцієнт трансмісії, а також коефіцієнт вторинної тепловіддачі. Для прозорих теплоізоляційних

матеріалів, а також шибок коефіцієнт пропускання енергії визначається за формулою:

$$g = \tau + q_i.$$

При проектуванні енергозберігаючих будівель, сонячних та пасивних будинків правильна оцінка коефіцієнта g допоможе скласти коректне рівняння теплового балансу для майбутньої будівлі.[25]

3.4 Головні кліматичні фактори

Усі три види будівель, вибраних як приклад у пункті 3.2 для екстремальних кліматичних умов, вказують на те, що сонячна радіація, що приходить (сумарна), температура, вітер, вологість є головними факторами, які необхідно враховувати при проектуванні будівель.

Величина сонячної радіації, що приходить, може бути отримана з довідників, метеорологічних станцій або за допомогою комерційних комп'ютерних програм як, наприклад, Meteonorm. Оцінка величини сонячної радіації необхідна для правильного проектування будівлі та раціонального використання сонячної радіації. Очевидно, що максимальне сонячне випромінювання посідає південний фасад будівлі, а мінімальне - з його північну частину. Широкі вікна на південному фасаді пропускають максимальну кількість сонячної енергії всередину будівлі, тоді як через вікна на північній стороні взимку відбуваються теплові втрати.

Температура. Температура навколишнього повітря враховується при проектуванні нагрівальних та охолоджувальних установок. Також необхідні середні значення при обчисленні витрат енергії. Добові коливання потрібні при розрахунку пікових навантажень усередині будівлі певної масивності та для підбору обладнання.[26]

Для проведення енергетичних розрахунків необхідно знати різницю між температурою зовнішнього повітря та внутрішньою температурою

будівлі – ні екстремальні, ні середні значення тут не дадуть точної картини. Тому використовується так званий метод "градусо-днів". Він заснований на тому, що в будинку, що не опалюється, в середньому температура всередині приміщення в результаті випадкового накопичення тепла вище, ніж зовні. Різниця температур становить 3 °C. Для більш масивних чи легших будівель вона буде відповідно від 2 до 8 °C.

Отже, теоретично будинок має опалюватися лише тоді, коли зовнішня температура знижується на величину більшу, ніж передбачено. Зовнішня температура, яка нижча за внутрішній на задану величину, називається базовою температурою. Наприклад, за різниці температури в 3 °C та внутрішньої запланованості 18 °C базова температура буде 15 °C. Для дня коли середня денна температура на 1 °C нижча за базову температуру, різниця в 1 °C може бути використана в розрахунках втрат тепла та споживання енергії, і такий день дає 1 градус-день. Таким чином, за кількістю градусів можна судити про суворість клімату даного регіону.[27]

Вітер. Швидкість вітру та його напрямок надають двостороннє впливом геть тепловий режим будівлі: вони визначають опір теплообміну на зовнішній поверхні будівлі, тобто. її ізолюючі властивості впливають на кратність повітрообміну внаслідок інфільтрації через отвір і, отже, на загальний тепловий баланс.

Для цілей проектування (розрахунків інфільтрації, вентиляції та ін) корисно мати троянду вітрів, де наводиться напрям і час, протягом якого швидкість вітру перевищує певну швидкість. За наявності вітру різниця тисків зовні та всередині будівлі сприяє створенню повітряних потоків, що проникають у будівлю через щілини та отвори (вікна, двері) на навітряній стороні, і що випливають із будівлі на підвітряній стороні. Такий потік повітря через будівлю може стати причиною втрати тепла (в літній час, навпаки, припливу тепла) і звести нанівець вплив механічної вентиляції, яка

створюється при постійному тиску вентилятором і зволожувачами, що мають спеціальні забірні отвори. Якщо отвори передбачені заздалегідь, ефективність системи вентиляції будуть визначатися положенням отворів щодо напряму вітру, їх величиною, а також розташуванням сусідніх стін.[28]

Вологість. Вологість повітря проявляється у вигляді фізіологічної та психологічної реакції людини на теплове відчуття. До того ж, вологість впливає на теплоізолюючі властивості пористих матеріалів. Вологість також впливає на конденсацію вологи на поверхню різних матеріалів, що може призвести до вогкості та, природно, до утворення плісняви. Багато залежить від навколишнього ґрунтового покриву. За наявності багатої рослинності вологість повітря є результатом випарів із ґрунту та рослинності. Трава та інші рослини навколо будівлі будуть гарантувати постійнішу локальну вологість (так само як і наявність відкритої водної поверхні).[29]

3.5 Компоненти пасивних сонячних систем

Зважаючи на вимоги до пасивних сонячних систем, можна виділити наступні компоненти: світлопрозорі теплоізоляційні компоненти (наприклад, вікна), абсорбери, «акумулятори енергії» (наприклад стіни будівлі), дах покрівлі - як компонент, що затіняє, що запобігає перегріву в літній час.

Світлопрозорі теплоізоляційні компоненти. Для пасивних сонячних систем вікна, які є світлопрозорими теплоізолюючими покриттями, відіграють величезну роль в енергозабезпеченні. Через вікна надходить сонячна енергія, яка є не лише джерелом світла, а й джерелом тепла. Для забезпечення світла розташування вікон не відіграє значної ролі. Однак, як уже було зазначено вище, в енергетичних цілях вікна доцільно розташовувати на південному фасаді та мінімізувати їхню кількість на північному.[30]

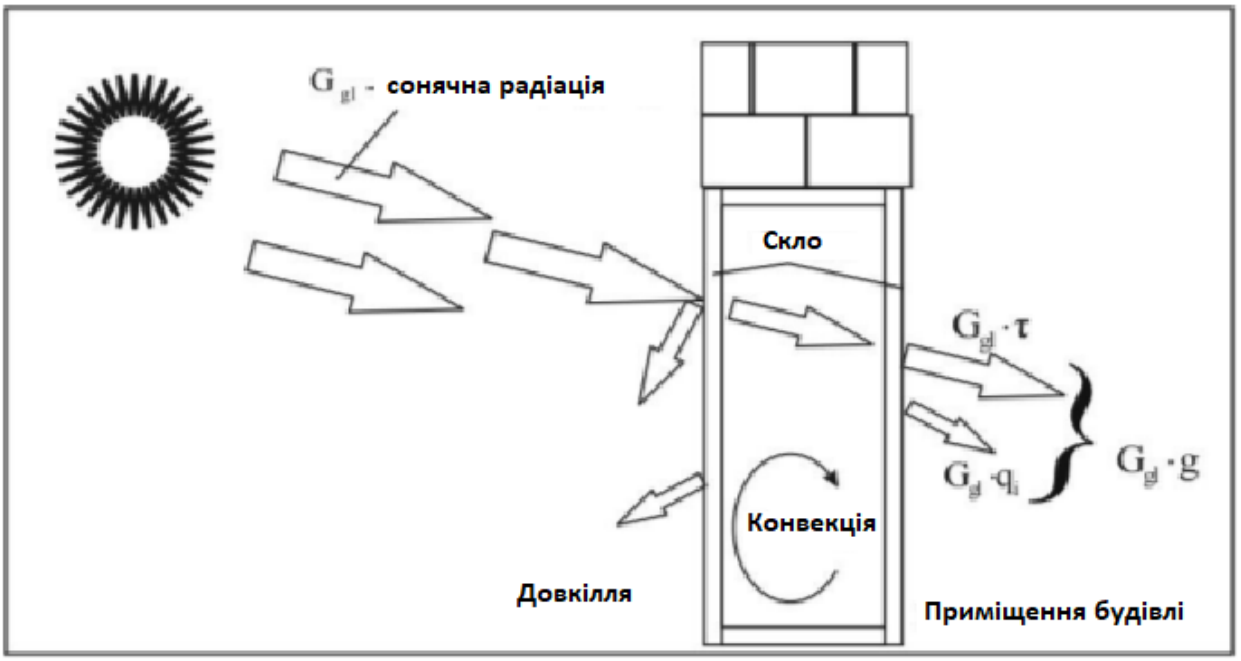


Рис.3.3 Енергія, що надходить через подвійне скління при глобальній радіації G_{gl}

На рис. 3.3 схематично представлено загальну кількість потужності енергії, яку можна одержати за допомогою вікон на південному фасаді. Глобальна сонячна радіація потужністю G_{gl}, Вт/м^2, частково проходить через вікно з подвійним склінням, частково відбивається, частково поглинається вікном. Поглинена вікном енергія виділяється у вигляді довгохвильового випромінювання, частина якого у вигляді вторинної тепловіддачі надходить у кімнату $G_{gl} \cdot q_i$. Можна відзначити, що при проектуванні будівель світлопрозорі теплоізоляції, а також вікна повинні мати максимальний коефіцієнт вторинної тепловіддачі, який характеризує кількість енергії, що надходить усередину будівлі, і одночасно мінімальний коефіцієнт U, що відповідає мінімальним тепловим втратам будівлі. Наприклад, якщо заповнити простір між склінням інертним газом, який володіє незначним коефіцієнтом теплопередачі, меншим коефіцієнтом теплоємності та підвищеною в порівнянні з повітрям в'язкістю, то можна зменшити коефіцієнт U, а відповідно і тепловтрати.[31]

У табл. 3.2 наведено приклади характеристик вікон з подвійним склінням, простір між якими заповнений повітрям, а інертним газом. Відстань між склінням називається оптимальною, тому що вона відповідає мінімальному коефіцієнту U.

Табл.3.2 Характеристики вікон, заповнених інертними газами

Назва газу	Повітря	Аргон	Криптон	SF_6
Оптимальна відстань між склінням, мм	15,5	14,7	9,5	4,6
Коефіцієнт теплопровідності, Вт/м^2 · К	$2{,}53 \cdot 10^{-2}$	$1{,}648 \cdot 10^{-2}$	$0{,}9 \cdot 10^{-2}$	$1{,}275 \cdot 10^{-2}$
Щільність газу, кг/м^3	1,23	1,699	3,56	6,36
Динамічна в’язкість газу, Па с	$1{,}75 \cdot 10^{-5}$	$2{,}164 \cdot 10^{-5}$	$2{,}34 \cdot 10^{-5}$	$1{,}459 \cdot 10^{-5}$
Теплоємність, Дж/кг· К	1007	519	345	614

З розвитком науки і техніки з'являються інші технології, що забезпечують світлопрозорим покриттям мінімальний коефіцієнт U. У табл.3.3 представлені деякі приклади вікон та їх коефіцієнти теплопередачі (U) і коефіцієнти пропускання енергії (g). З наведених даних можна дійти невтішного висновку, що з зменшенням коефіцієнта U трохи падає і коефіцієнт пропускання енергії g. Вікно з подвійним склінням, товщина скла яких 4 мм, а міжскляне простір - 16 мм, має параметри g=0,65 і U=3,00, Вт/(м^2 · К).

Табл.3.3 значення g, U для різних вікон

Назва	Коефіцієнт g	Коефіцієнт U, Вт/(м^2 · К)
Вікно з подвійним склінням (4+16+4, повітря)	0,65	3,00
Вікно з подвійним склінням (4+16+4, аргон)	0,6	1,3
Вікно з подвійним склінням (4+14+4, ксенон)	0,58	0,9
Вікно з потрійним склінням	0,44	0,8
Вікно з потрійним склінням наповнене криптоном	0,44	0,7
Вікно з потрійним склінням наповнене ксеноном	0,42	0,4

Затіняючі компоненти. Враховуючи діаграму сонцестояння для даної місцевості, можна без особливих труднощів передбачити перегрівання будинку влітку. Для затінення будівлі від сонячного випромінювання в літню пору можна використовувати правильно спроектовану покрівлю даху, виступи балконів для багатоповерхових будівель. Такі компоненти, що затіняють, відрізняються простотою і довговічністю, будучи одночасно елементами самих будівель. На рис.3.4 схематично показаний принцип функціонування таких систем. З урахуванням різниці висоти сонцестояння

можна дуже просто уникнути перегріву кімнат, продовживши покрівлю даху.

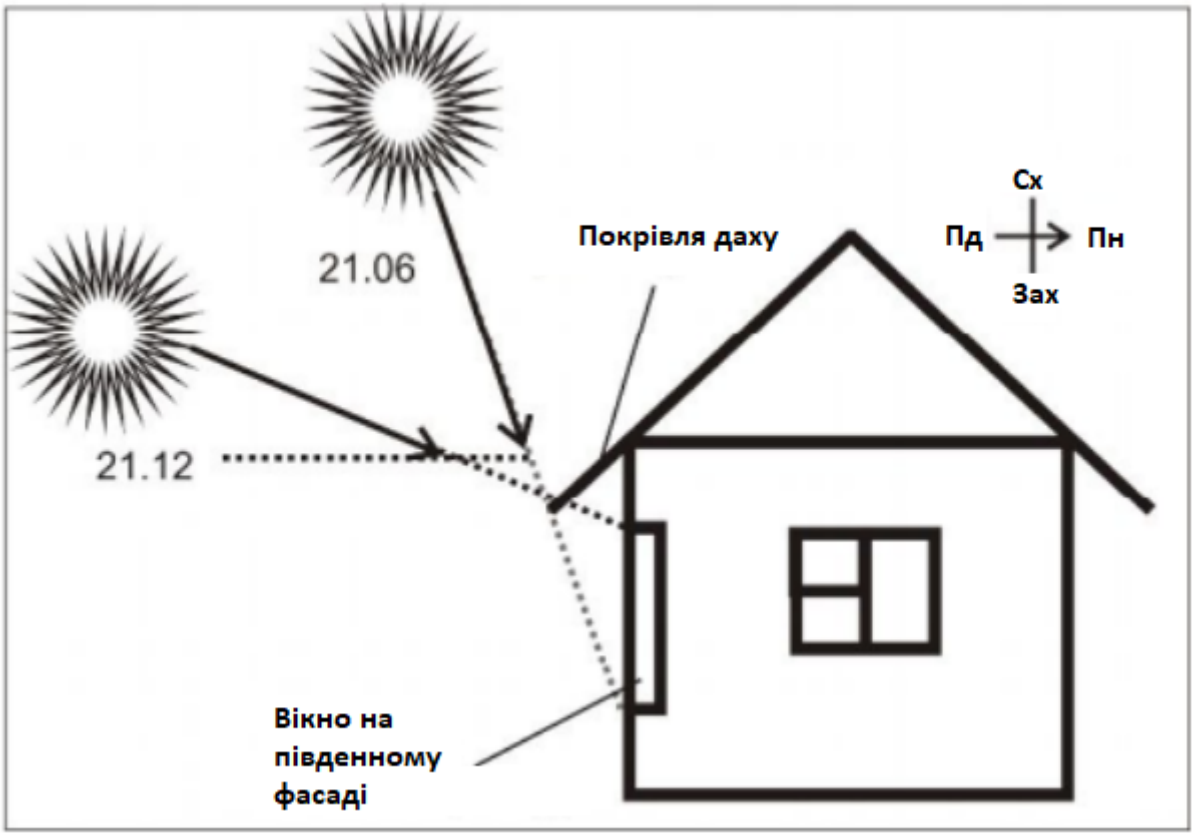


Рис.3.4 Затіняючі компоненти пасивних сонячних систем

До пасивного проектування можна віднести рослинність, висаджену навколо будівлі. Звісно, рослинність є компонентами будинків, проте вона належить до компонентів пасивного проектування. Відомий біологічний цикл у рослинності, наприклад, у дерев: восени листя починає жовтіти і опадати. Таким чином, взимку деякі дерева залишаються зовсім голими, що складаються лише з гілок. Навесні ж починають розпускатися нирки, потім виростає листя, що створює в денний час навпроти падаючої сонячної радіації прохолодну тінь. Оптимально висаджене дерево перед південним фасадом будівлі може забезпечити збереження від перегріву в літню пору, забезпечуючи прохолоду, і одночасно використання сонячної радіації в зимовий час як додаткової енергії.[32]

Абсорбери та накопичувачі енергії. Якщо як абсорбери і накопичувачі енергії в активних сонячних теплових системах йшлося про спеціальні

технологічні компоненти як колектор або бак-акумулятор, то в пасивних сонячних системах цю функцію відіграють самі конструктивні частини будівлі. У системах із прямим теплонадходженням абсорбером є всі поверхні предметів, що потрапляють під сонячне випромінювання. Стіни, підлога і предмети кімнати є накопичувачами енергії або акумуляторами. Для оцінки ємності акумуляторів пасивних систем, наприклад, стіни, застосовується відома раніше формула, яка враховує щільність речовини стіни, об'єм стіни та теплоємність.

3.6 Системи пасивного опалення

Залежно від розташування компонентів розрізняють такі види систем пасивного опалення: системи із прямим теплонадходженням, системи з непрямим теплонадходженням.

У системах з прямим теплонадходженням сонячні промені проникають у опалювальні приміщення через віконні отвори та нагрівають будівельні конструкції, які стають приймачами та акумуляторами тепла. Для таких систем характерно, що температура кімнати та поверхні предметів змінюються практично одночасно зі зміною сонячної радіації, що надходить до приміщення. Подібні системи особливо корисні, коли цикл потреби тепла збігається з циклом зміни сонячної радіації. Наприклад, подібні системи можуть бути використані для офісів, де вдень є потреба для опалення, а вночі немає.

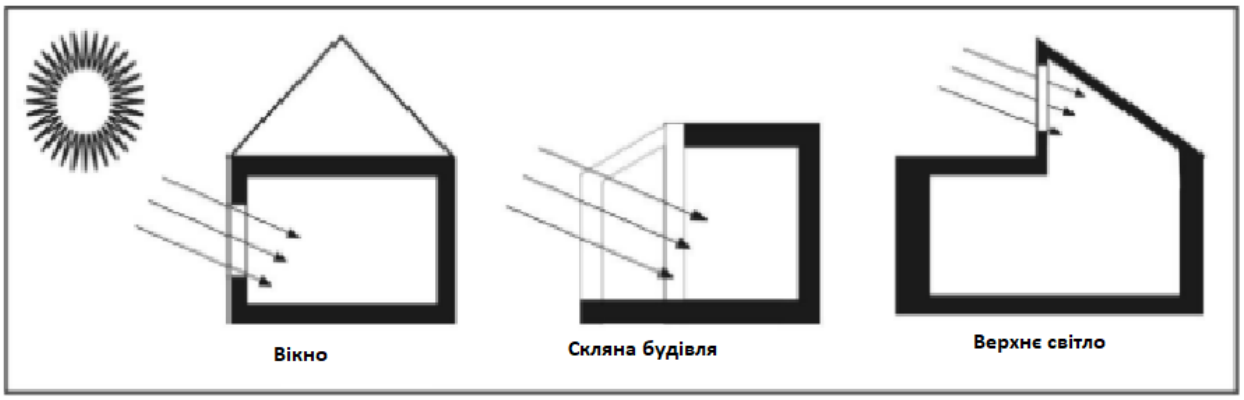


Рис.3.5 Варіанти систем із прямим теплонадходженням

У системах з непрямим теплонадходженням потік сонячної радіації безпосередньо не проникає в приміщення, а поглинається теплоприймачами (захищеними світлопрозорими огорожами), поєднаними із зовнішніми конструкціями, що є, як правило, акумуляторами тепла. Накопичене тепло в акумуляторах (конструкції будівлі) передається в повітря приміщення. Перевагами таких систем є простота, а також інертність системи. Вдень під впливом сонячної радіації відбувається нагрівання будівельних конструкцій, накопичене тепло яких витрачається в нічний час. На відміну від систем з прямим теплонадходженням температура кімнати тут різко не змінюється в залежності від зміни глобальної радіації. Недоліками таких систем є вищі теплові втрати у довкілля проти системами прямого теплонадходження. Інакше подібні системи нерідко називають сонячними стінами, оскільки в основному саме стіни є акумуляторами теплової енергії.[33]

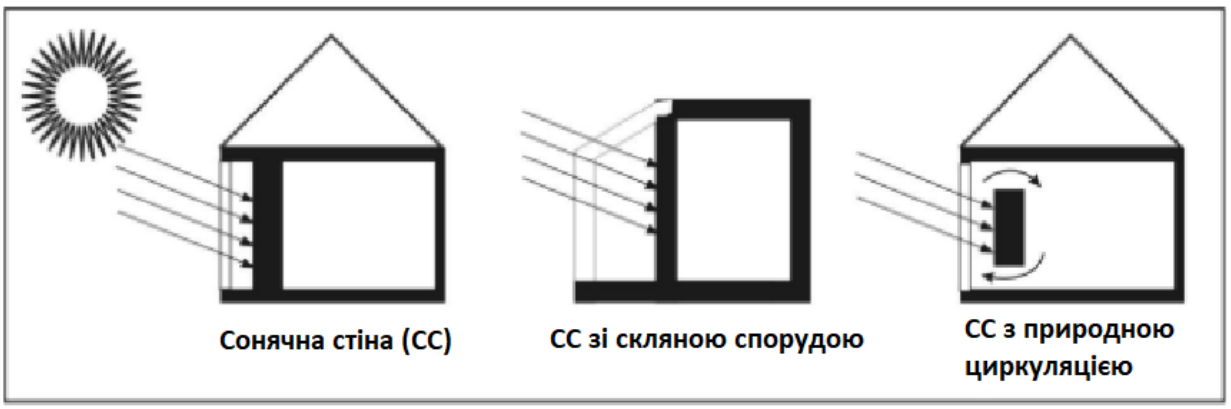


Рис.3.6 Варіанти систем із непрямим теплонадходженням

Новими розробками в галузі ефективного будівництва відноситься також світлопрозора теплоізоляція (transparent thermal insulation). Якщо як теплоізоляційні матеріали звичніше бачити мінеральну вату, ізовер, пінопласт, які мають низький коефіцієнт теплопровідності і є непрозорими для сонячного випромінювання, то світлопрозора теплоізоляція має ряд переваг. Світлопрозора ізоляція пропускає сонячне випромінювання і одночасно має низький коефіцієнт теплопередачі. Подібна теплоізоляція дає можливість додатково пропускати сонячну енергію, забезпечуючи тим самим приплив енергії. Світлопрозора ізоляція може стати гарним засобом для утеплення вже існуючих будівель.[34]

Змішана система. У змішаних сонячних системах деякі компоненти не є конструктивною частиною будівлі (наприклад, вентилятор для створення циркуляції повітря). Іноді стає важко класифікувати такі системи, які можна зарахувати до активних сонячних систем. Подібні системи характеризуються тим, що тепло накопичується на конструктивній частині будівлі, яка ізолована від приміщення. Сонячне тепло через спеціальні канали переноситься повітрям у накопичувач, який може бути складовою конструкцією будівлі, або окремим компонентом. Дані системи застосовуються для більшого зсуву фаз між тепловою потребою та сонячною радіацією, що надходить. Основним перевагою даних систем є можливість їх регулювання. Через теплоізоляцію між абсорбером та внутрішнім приміщенням відбувається зменшення теплових втрат у нічний час. Недоліками таких систем є їхня непроста конструкція, чутливість до дефектів (наприклад, нещільність).

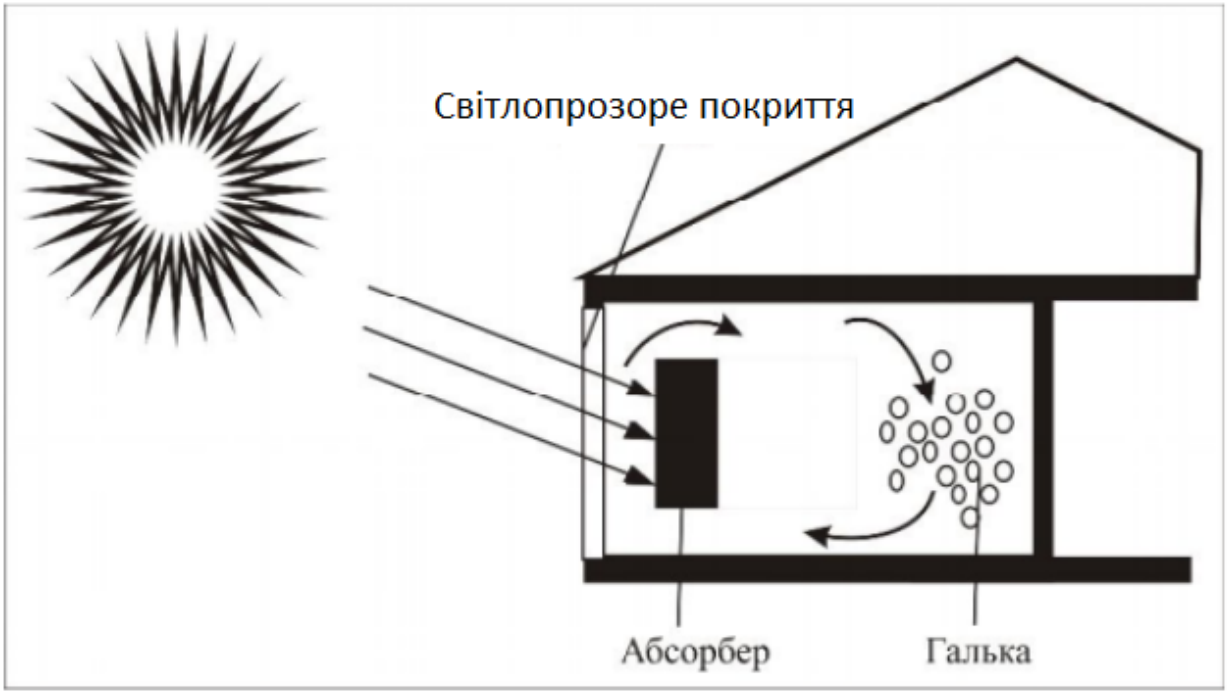


Рис.3.7 Змішана сонячна система

3.7 Приклади пасивних сонячних систем

Є цілий ряд прикладів щодо використання пасивних сонячних систем. Далі будуть розглянуті лише деякі з них.

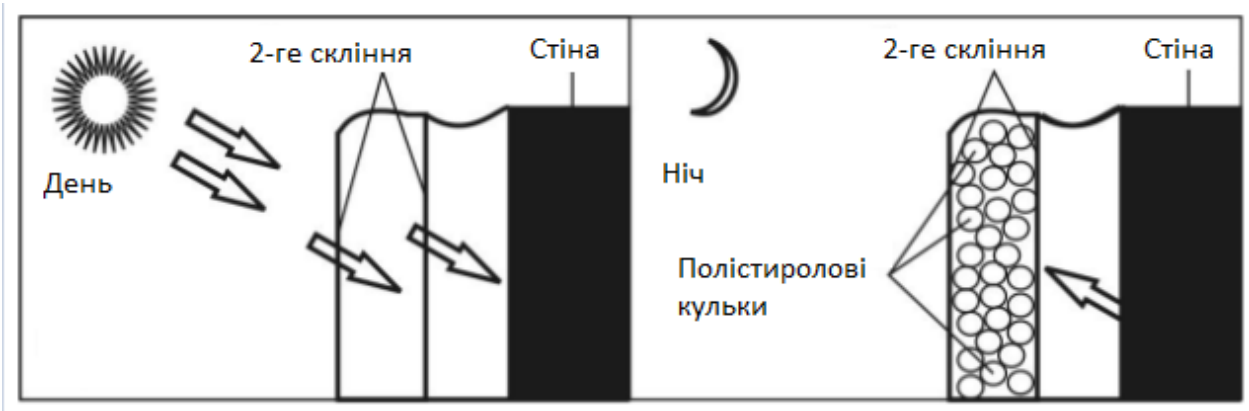


Рис. 3.8 Система "Бідуолл"

Огороджувальна конструкція будівлі системи «Бідуолл» (Рис 3.8) складається з двох шибок з порожнім простором між ними, яке заповнюють полістироловими кульками. У сонячні дні гранули прибирають із порожнини, щоб забезпечити доступ сонячної радіації. Сонячна радіація, проникаючи

через скління, нагріває стіну, яка відіграє роль акумулятора енергії. У нічний час заповнена гранулами порожнина є теплоізоляцією, що знижує втрати втрати з будівлі.[35]

Система Скайлід є покрівельним ліхтарем з розташованими під ним трьома центрально збалансованими заслінками (жалюзі). Центральна заслінка обладнана з кожного боку чорною трубкою з фреоновою рідиною, розташованою таким чином, що при проходженні прямої сонячної радіації через покрівельний ліхтар і попаданні на лопаті фреон розширюється, переходить в іншу трубку і виводить з рівноваги лопаті, що відкриваються та закриваються. Лопаті забезпечені ізоляцією, тому втрати тепла з будівлі уповільнюються.

Система «Стіна Тромба-Мішеля» (рис.3.9.)складається з масивної бетонної стіни, пофарбованої зовні в чорний колір, і заскленого екрана, що віддаляється від стіни на 50 мм. Бетонна стіна зсередини та всі елементи огороджувальної конструкції ізольовані. Стіна, яка одночасно є колектором та акумулятором тепла, орієнтована на південь. Сонячна радіація проникає крізь скло, поглинається покриттям та нагріває стіну. Нагріта стіна випромінює довгохвильове випромінювання, яке затримується склом, завдяки чому повітря в зазорі між стіною та склінням нагрівається. Проходи у верхній та нижній частинах стіни дають можливість нагрітому повітрю надходити в кімнату на рівні стелі, а холодному повітрі йти з приміщення на рівні підлоги. Охолодження в літній період здійснюється за допомогою клапанів, розташованих у верхній частині стіни, через які нагріте повітря викидається в атмосферу, та клапана, що знаходиться в задній частині будівлі та забезпечує надходження холодного повітря. Товщина стін зазвичай становить від 300 до 400 мм. Всередині стін можна розмістити інші системи, що акумулюють, такі як водяні баки або хімічні акумулятори, що діють на основі фазових переходів. Прототипи цих будинків збудовані в Одейо.

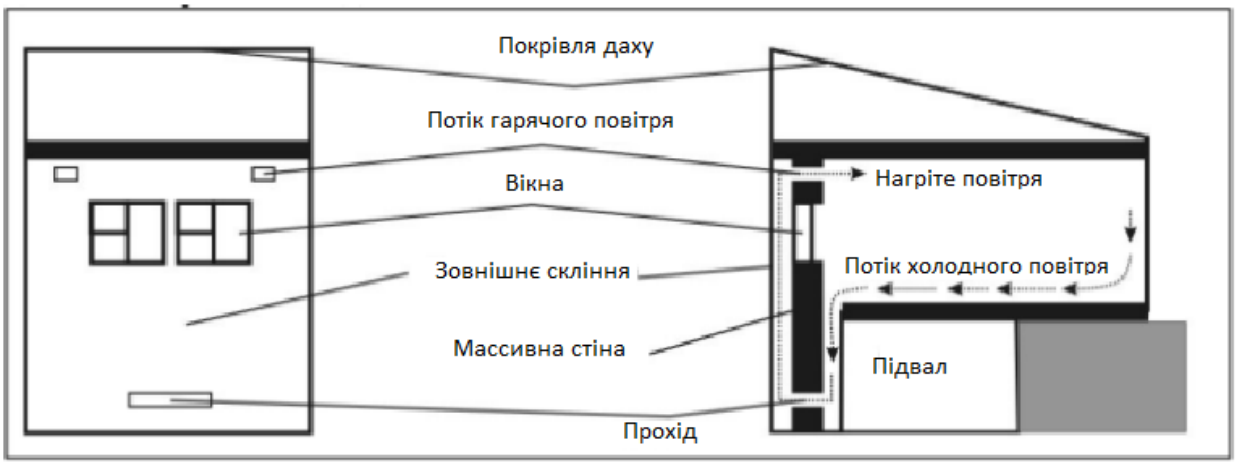


Рис.3.9 Система «Стіна Тромба-Мішеля»

Система "Марсельська стіна". Тут також використовують масивну стіну. Зовнішні жалюзі можна відкрити, щоб дати доступ прямому сонячному випромінюванню, у нічний час жалюзі закривають, щоб знизити швидкість витоку тепла (тепло, поглинене стіною, вночі віддається будівлі). Влітку протягом дня жалюзі можуть закриватися для захисту від притоку сонячного тепла. Вночі в літню пору при відкритих жалюзі поглинене вдень тепло через стіну виходить назовні. Недоліком є те, що жалюзі потрібно постійно регулювати в міру зміни положення сонця на небосхилі.[36]

Система "Скайтерм хауз". Тут використовують мішки з водою на покрівлі будівлі. У зимовий час сонцезахисні екрани над мішками забирають, і мішки нагріваються сонцем. Вночі та взимку сонцезахисні екрани знижують швидкість витоку тепла. Влітку – зворотний процес.

Система Альтенкірха - східні та західні пустотілі стіни будинку, заповнені сорбуючим матеріалом, що не перешкоджають вертикальному потоку повітря між зовнішньою та внутрішньою оболонками стіни. У верхній та нижній частинах кожної стіни знаходиться регулюючий клапан, який можна налаштувати на пропускання повітря через приміщення як зі сходу на захід, так і із заходу на схід. У верхній частині кожної стіни розташовані випарні охолоджувачі. Вранці сонце нагріває східну стіну та викликає підйом

повітря всередині неї. За допомогою клапанів потік повітря спрямований через приміщення із заходу Схід. Нагріте повітря, що піднімається, в східній стіні викликає рух повітря із західного боку будинку через приміщення. Сорбувальний матеріал висушує зовнішнє повітря до того, як він проходить через випарний охолоджувач. Охолоджене повітря опускається до підлоги приміщення і потім витягується через нагріту східну стіну, у цей час видаляється волога, поглинена сорбуючим матеріалом у східній стіні за попереднім. У другій половині дня регулюючі клапани налаштовують пропускання потоку повітря через приміщення зі сходу захід.

Система "пасивного" сонячного опалення А. Моргана. Розроблена Морганом система була впроваджена на базі школи у Великій Британії, де він використовував світлопрозору теплоізоляцію (скло) та інертність південного фасаду. Система пасивного теплопостачання представлена на рис. 3.10. Двоповерхова школа практично повністю опалювалася за рахунок сонячної енергії, що приходить.

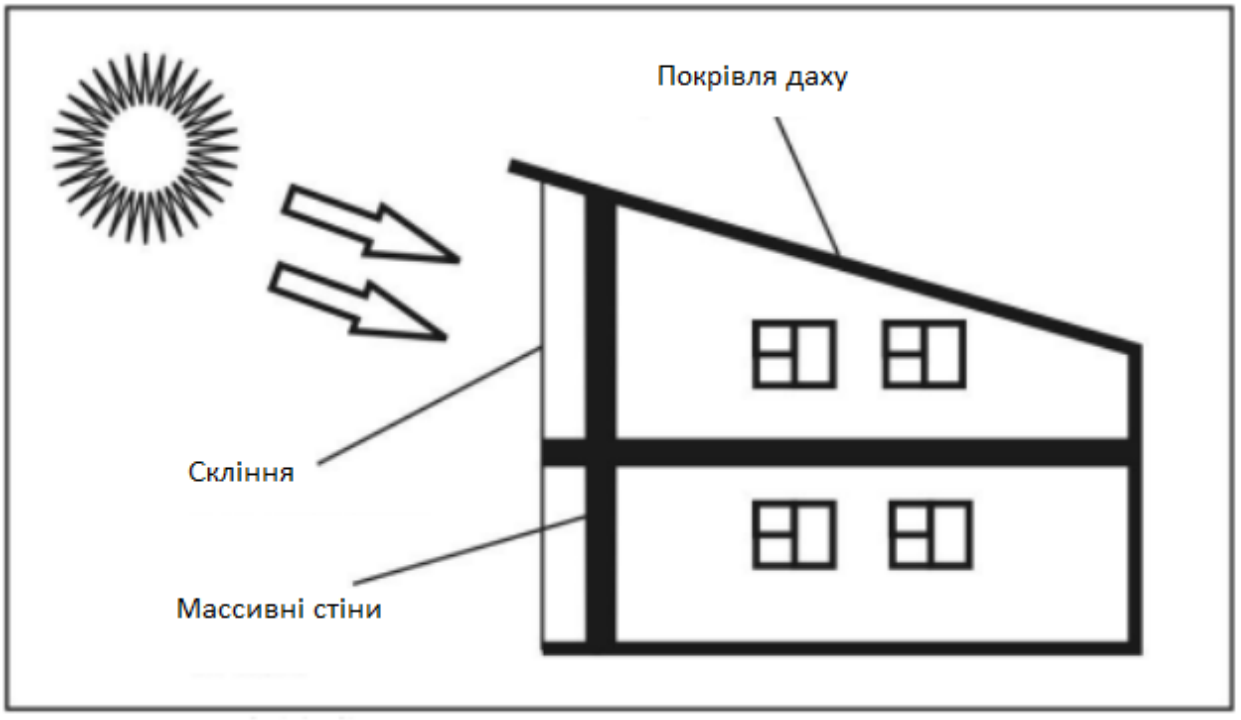


Рис.3.10 Система сонячного опалення Моргана

4. Пасивний сонячний обігрів на базі теплиці як частини приміщення

Якщо теплиця буде житловим приміщенням, то потрібно буде розглянути комфорт, зручність і свободу просторів доповнення до енергетичної ефективності. Кімната, в якій планується проживання, має бути теплою зимою, прохолодною влітку, мати невисоку контрастність освітлення та помірну вологість.[37]

Вертикальне скління - вибір значної кількості проектувальників з різних причин. Перш за все, хоча похило скління вловлює більшу кількість теплоти, але взимку воно також і втрачає більшу кількість цієї теплоти в нічний час, що зводить на отримання денного тепла. Застосування похилого скла може також призвести до перегріву в теплішу погоду, зазвичай навесні та восени, коли немає потреби в опаленні. Вертикальне скління південної стіни набагато більше відповідає вимогам опалювального навантаження. Воно ефективно взимку, коли сонце знаходиться низько над горизонтом і дозволяє зменшити надходження сонячного тепла, коли сонце знаходиться поблизу зеніту влітку. Добре спроектований карниз над південним склінням - може бути все, що необхідно, щоб затінити його від сонячних променів, коли приміщення не потребує додаткового теплонадходження. Вертикальне скління також дешевше і простіше в монтажі та ізоляції, і не схильне до протікання, конденсату і поломок.

Теплиця, розроблена для проживання, вимагає ретельного розміщення термічної маси, а також повинні бути вжиті спеціальні заходи для того, щоб прямі сонячні промені не падали на цю теплоакумулюючу масу. Кам'яна підлога, покрита килимами та меблями, очевидно не така ефективна термічна маса як кам'яна кладка, що знаходиться на шляху прямих сонячних променів. Коли сонце сідає, ті самі вікна, що вловлювали теплоту протягом усього дня починають випромінювати отриману теплоту навколишній простір. Для мінімізації нічних втрат теплоти та підвищення комфорту (людське тіло теж

випромінює теплоту в напрямку холодних поверхонь) можна захотіти включити у проект рухому теплоізоляцію вікна або вирішити питання встановлення склопакетів, що мають мінімальні теплові втрати.[38]

4.2 Скління

Ідеальна орієнтація для скління теплиці - суворий південь, хоча відхилення до 30 ° на захід або схід цілком допустимо. Для отримання максимальної кількості сонячного теплонадходження скло повинне бути нахилене під кутом 50...60° до горизонту. Багато проектувальників в їх проектній стратегії віддають перевагу вертикальному склінню або комбінації вертикального і похилого скління.

Вертикальне скління південної орієнтації має перевагу перед похилим склінням, т.к. з ним простіше захиститися від протікань і від літнього сонця, що високо стоїть, але його зимові характеристики на 10...30% гірше, ніж у похилого скління при тій же площі. Ефективність приміщення, в якому скомбіновано вертикальне скління та скління даху, вище, ніж приміщення, в якому засклена лише південна стіна.

4.3 Акумулювання тепла

Якщо глибина теплиці більше її висоти, сам простір вловить випромінювання, якщо кольори поверхонь, на які падає світло, прийнятні. Іншими словами, поверхні теплоакумулюючих матеріалів (термічна маса) повинні бути темних тонів для поглинання принаймні 70% енергії сонячного світла, що падає на них.

Щоб дати деяке поняття про відносний коефіцієнт поглинання світла поверхнями різних кольорів, слід сказати, що сажа має коефіцієнт поглинання близько 95%, поверхню темно-синього кольору близько 90% і поверхню темно-червоного кольору приблизно 86%. Матеріали, які не

використовуються для акумулювання тепла повинні бути світлими тонами для того, щоб відбивати світло на термічну масу, не розташовану на шляху променів прямого сонячного випромінювання.

Підлога, північна стіна, східна та західна бічні стіни – гарне місце для теплоакумулюючої маси. Вони повинні бути застосовані матеріали з високою теплопровідністю: бетон, вода, цегла, землероб. Пінобетон не прийнятний як теплоакумулюючий матеріал, а бетон найбільш ефективний при товщині від 100 до 150 мм. При використанні пустотілих бетонних (цокольних) блоків усі порожнечі повинні бути залиті цементним розчином.

Якщо кам'яна підлога і масивні стіни - єдині матеріали, що акумулюють тепло в приміщенні, 3 $м^2$ поверхні кам'яної кладки на 1 $м^2$ південного скління - співвідношення, що рекомендується. Якщо вода в контейнерах - єдине теплоакумулююче середовище, що використовується, рекомендоване відношення - 14 л води на 1 $м^2$ скління.[39]

Збільшення маси стабілізує внутрішні температури, роблячи приміщення зручнішим для людей та рослин. Загальна стратегія полягає в тому, щоб використовувати від 100 до 150 мм неізольованої кам'яної стіни як північну стіну теплиці. Стіна залишається неізольованою для того, щоб теплота з теплиці могла проходити через неї у внутрішні приміщення будинку.

4.4 Збереження тепла

Якщо теплиця повинна використовуватися для вирощування рослин або як житлове приміщення, то рекомендується як мінімум подвійне скління. У разі застосування одношарового скління втрати теплоти вночі дуже великі, що робить приміщення некомфортабельним для перебування людей і рослин. Рухлива теплоізоляція або система скління з більш високим термічним опором значно покращать характеристику скління.

Будь-який із цих методів збільшує вартість проекту, а очевидна незручність рухомої ізоляції полягає в тому, що хтось повинен переміщувати її щодня, і деякі проектувальники відмовляються через це її використовувати. З іншого боку, існує можливість керування теплоізоляцією автоматично з використанням електродвигунів та термостатів, і теплоізоляція може створювати закритість, літнє затінення, підвищувати комфорт у холодні зимові ночі.

4.5 Розподіл тепла

Для розподілу нагрітого повітря з теплиці до інших приміщень будинку вентиляційні отвори розміщені в стіні, що розділяє теплицю та інші приміщення будинку. Теплота передається термосифонною циркуляцією повітря. Нагріте повітря піднімається до стелі теплиці, проходить у суміжне приміщення через верхні вентиляційні отвори, а прохолодне повітря із суміжного приміщення всмоктується в теплицю через нижні вентиляційні отвори для нагрівання та повторення циклу.

Якщо отвори є дверима заввишки 2 м, то мінімальна площа отворів, що рекомендується, 0,08 $м^2$ на 1 $м^2$ скління теплиці. Якщо використовуються отвори у верхній та нижній частині суміжної стіни з відстанню між ними 2,4 м, то мінімальна площа кожного з отворів, що рекомендується, — 0,025 $м^2$ на 1 $м^2$ скління теплиці.

4.6 Засоби управління

Повітря в теплиці може сильно перегрітися, якщо система вентиляції була спроектована неправильно. Результат – мертві рослини та непридатне для проживання приміщення. Ми згадали, що перегрів найбільш вірогідний

наприкінці літа або напровесні, коли сонце вже невисоко на небосхилі, а температура зовнішнього повітря все ще висока протягом дня.

Вентиляційні отвори розміщені у верхній частині теплиці, де температура найвища, і в нижній її частині, де найнижча температура, для створення ефекту «димової труби». Електродвигуни, керовані термостатом, можуть бути встановлені для відкривання вентиляційних прорізів автоматично, якщо нікого не буде вдома, щоб відкрити їх.

Площа цих вентиляційних отворів має точно відповідати розрахунку. Задана площа вентиляційного отвору залежить від:

• кута нахилу скла;

• відстані між верхніми та нижніми вентиляційними отворами;

• допустимої внутрішньої температури;

• потужності двигуна вентиляторів у разі застосування примусової вентиляції.[40]

5. Розрахунок потужності сонячного колектору

5.1 Різновиди вакуумних трубок в сонячному колекторі

Перед початком розрахунку важливо знати, які існують типи трубок, принципи їх роботи, переваги та недоліки. Це необхідно розуміти, щоб визначити, які конкретні типи трубок використовувати в своєму сонячному колекторі.

Перейдемо до самих типов трубок.

Вакуумні трубки першого типу. Така конструкція представляє собою колбу термоса (колба в колбі). Конструкція двох стінкова. Стінки скляних циліндрів мають різну товщину: зовнішня колба міцніша – 1,8±0,15мм, внутрішня колба – 1,6±0,15мм. Циліндри вставлені один в інший і запаяні у верхній частині трубки. Протилежний кінець внутрішньої колби утримує у центрі чотирьох пелюсткова пружина. Простір між скляними стінками заповнений технічним вакуумом (менше 5х10-3 Па) та створює перешкоду для втрат тепла (принцип роботи колби термоса). Верхні кінці (вустя) вакуумних трубок вставляють через ущільнювачі в бак-термос, розташований на рамі над ними, і утворюють з ним одну ємність. Принцип дії - термосифон між вакуумними трубками та баком-термосом водонагрівача. Теплоносій системи – вода. Тип циркуляції – пасивний. Абсорбційний шар на поверхні внутрішньої колби утилізує сонячну енергію і нагріває скло колби, вода у вакуумній трубці нагрівається від скла, і вона природно піднімається вздовж верхньої стінки колби і надходить у бак-термос, одночасно холодніша вода з бака-термосу надходить вздовж задньої стінки колби до вакуумної трубки. Таким чином, відбувається циркуляція води усередині системи. Показник максимального ККД (оптичний ККД) Сонячного водонагрівача з вакуумними трубками досягає 92-96%.

Вакуумні трубки другого типу. Вони являють собою колбу термоса (колба в колбі) як і перший тип. мл рідини, що легко випаровується (аналог пропіленгліколю). На гирлі вакуумної трубки наварений скляний теплообмінник-конденсатор довжиною 150 мм і діаметром як внутрішня колба вакуумної трубки. Товщина стінок скляних колб, марка скла, зовнішні типорозміри у вакуумних трубок всіх типів однакові, як і вакуумних трубок першого типу. Вакуумні трубки такого типу в літературі та у виробників мають назву вакуумні трубки подвійного вакуумування.

Верхні запаяні кінці вакуумних трубок (з теплообмінником) вставляють через ущільнювачі в бак-термос, розташований на рамі над ними, і НЕ утворюють з ним одну ємність. Теплоносій системи - рідина, що легко випаровується, яка знаходиться у внутрішній колбі. Тип циркуляції – пасивний. Принцип дії – прямий теплообмін між теплообмінником-конденсатором вакуумної трубки подвійного вакуумування та водою у баку-термосі. Легко випаровуюча рідина у вакуумній трубці нагрівається внутрішньої скляної колби, яка нагрівається від сонця, і за +35°С починає випаровуватися. Пара піднімається і надходить у верхню частину вакуумної трубки, де розташований конденсатор-теплообмінник, там контактуючи через скло з водою в баку-термосі, віддає тепло, конденсується і стікає вниз у вакуумну трубку. Потім цикл повторюється, утворюючи таким чином безперервний процес теплообміну. Таким чином відбувається нагрівання води всередині бака-термосу. Прямого контакту між теплоносієм та водою – НІ! Показник максимального ККД (оптичний ККД) сонячного водонагрівача з вакуумними трубками досягає 90-92%.

Вакуумні трубки третього типу. Являються продовженням розвитку вакуумних трубок першого типу з включенням елементів з теплопровідністю вище ніж скло та вода. Називаються теплові трубки цього типу Heat Pipe. У верхній частині колба закрита пробкою з отвором у центрі діаметром 8 мм.

Всередині вакуумної трубки «Heat Pipe» поміщена мідна трубка діаметром 8 мм, запаяна з обох кінців і має на верхньому кінці розширення до 14 мм або 24мм (конденсатор-теплообмінник).

Усередині мідної трубки знаходиться теплоносій - рідина, що легко випаровується, має температуру кипіння +35°С. Тип циркуляції – пасивний.

Мідна трубка знаходиться в центрі внутрішньої скляної колби за допомогою алюмінієвої пластини-пружини, яка передає тепло від внутрішньої колби до мідної трубки.

Принцип дії – прямий теплообмін між конденсатором-теплообмінником та водою у баку-термосі або антифризом у маніфольди. Скляна стінка внутрішньої колби нагрівається від адсорбційного шару та передає тепло алюмінієвій пластині-пружині, яка утримує мідну трубку в центрі колби. Від алюмінієвої пластини тепло передається мідній трубці. Рідина, що легко випаровується, у вакуумних трубках «Heat Pipe» нагрівається від стінок мідної трубки, і при +35°С починає випаровуватися. Пара піднімається і надходить у верхню частину мідної трубки трубки, де розташований конденсатор-теплообмінник, там контактуючи через мідну стінку з водою в

баку-термосі або з теплоносієм-антифризом у маніфолді, віддає тепло, конденсується і стікає вниз у мідну трубку. Потім цикл повторюється, утворюючи таким чином безперервний процес теплообміну.

У зв'язку з багаторазово теплопередачею від одних вузлів до інших, ефективність вакуумних трубок такого типу не висока. Показник максимального ККД (оптичний ККД) сонячного колектора з тепловими трубками Heat Pipe досягає всього 65%.

Вакуумні трубки четвертого типу. У цьому типі вакуумних трубок всередині колби-термоса проходить прямоточний U-подібний тепловий канал з мідної трубки діаметром 8 мм. А в маніфольди потоки теплоносія холодного та гарячого розведені у дві мідні трубки діаметром 25 мм.

Фіксується «U»-подібна мідна трубка алюмінієвою пластиною-пружиною на внутрішній поверхні якої розташовані в діаметральній площині два канали для фіксації мідної трубки. Даний тип сонячного вакуумного колектора отримав назву колектор з U-подібною трубкою.

У колекторі з U-подібною мідною трубкою, за рахунок зменшення кількості теплопередач (теплота від алюмінієвого шару передається відразу трубкам, в яких циркулює теплоносій), максимальний ККД може досягати 76%. Недоліком може бути те, що при певному рівні пошкодження заміни може зажадати весь сонячний колектор, а не лише колба.

У порівнянні з трубками Heat Pipe, U-подібні вироби мають більшу гідравлічну опірність, пред'являють підвищені вимоги до теплоносія і коштують значно дорожче. Колектори, що функціонують на прямоточних U-трубках, не можуть працювати під високим тиском та забезпечують якісну тепловіддачу лише у період теплого сезону.

Вакуумні трубки п'ятого типу. Вакуумні трубки цього типу мають більшу товщину скляних стінок, ніж коаксіальні вакуумні трубки (залежно від виробника від 2,5 мм і вище), і складаються не з двох, а з однієї колби. Внутрішній абсорбційний елемент «трубка» з міді (діаметр 8мм) забезпечується по всій довжині міцним підсилювачем — гофрованою пластиною з високорівневим енергопоглинаючим напиленням темного синього кольору, що своєю формою нагадує перо. Звідси і назва «Вакуумні пір'яні трубки». У верхній частині теплова трубка, поза скляною колбою, забезпечена конденсатором-теплообмінником довжиною 80мм та діаметром 14 або 24мм. Всередині скляної колби створено технічний вакуум до 5*10-3

Па. Усередині мідної трубки знаходиться теплоносій - рідина, що легко випаровується, має температуру кипіння +35°С. Тип циркуляції – пасивний.

Сонячне світло потрапляючи на пластинку покриту абсорбуючим складом, нагріває її. Від неї тепло передається до мідної теплової трубки. При нагріванні мідної теплової трубки всередині її нагрівається рідина, що легко випаровується, пара піднімається вгору і потрапляючи в конденсатор-теплообмінник остигає віддаючи тепло антифризу в маніфольди.

"Вакуумні пір'яні трубки" з тепловою трубкою мають вищі оптичні характеристики, ніж коаксіальні вакуумні трубки "Heat Pipe". У деяких виробників значення максимального ККД досягають 77%. Цьому сприяють такі конструктивні особливості: плоский абсорбер з безпосередньою передачею теплоти до теплової трубки, а також один шар скла, що значно зменшує віддзеркалення сонячного випромінювання. Також зручним є процес заміни пошкоджених трубок, що не вимагає заміни всього колектора і зливання теплоносія всієї системи.

Вакуумні трубки шостого типу. Вакуумні трубки цього є продовженням розвитку вакуумних трубок п'ятого типу. Це теж «Вакуумна пухова трубка» тільки замість теплової трубки в ній організований ефективніший внутрішній прямоточний канал. Тобто. замість теплової трубки вставлений в щільно облягаючий абсорбент пір'я робочий канал, виготовлений з мідних трубок вставлених один в одного, діаметром 8 і 5 мм. Трубка більшого діаметру запаяна на нижньому кінці, тонша трубка має відкритий кінець і не стосується зовнішнього дна трубки.

При монтажі пір'яних трубок у раму на стрижень кожної деталі одягають міцну гайку з кільцем і термостійкою прокладкою. Це забезпечує герметичність усієї конструкції та дає можливість колектору повноцінно функціонувати в будь-яких умовах.

Сонячна вакуумна трубка шостого типу має максимальний ККД для такого типу трубок до 80%. Існує досить помітна незручність при експлуатації сонячних колекторів з таким типом трубок, як і у трубок з «U»-подібною мідною трубкою. При заміні пошкоджених трубок потрібно зливати теплоносія всієї геліосистеми. Так само ці колектори мають досить високу ціну.

5.2 Розрахунок різних конфігурацій трубок в сонячному колекторі

Спочатку розглянемо набір даних з яких будемо складати різні конфігурації трубок. Самі дані наведені нижче.

Розміри трубок:

Зовнішній діаметр: 0,037м, 0,048м, 0,058м, 0,07м.

Довжина трубок: 1.5м, 1,8м, 2,1м

Використана формула для розрахунку площі однієї трубки:

$S = \pi * d * l$, де

π = 3.14 ;

l - довжина трубки (м);

d - діаметр трубки (м)

Так як буде багато розрахунків, то для кращого розуміння запишемо умовні позначки, які будуть використані до фінальних розрахунків. Вони мають наступний вигляд (комбінації):

0,037 * 1,5 = (1) 0,037 * 1,8 = (2) 0,037 * 2,1 = (3)

0,048 * 1,5 = (4) 0,048 * 1,8 = (5) 0,048 * 2,1 = (6)

0,058 * 1,5 = (7) 0,058 * 1,8 = (8) 0,058 * 2,1 = (9)

0,07 * 1.5 = (10) 0,07 * 1.8 = (11) 0,07 * 2.1 = (12)

Розміри трубок	1.5 м	1.8 м	2.1 м
0,037 м	0,17 $м^2$ (1)	0,21 $м^2$ (2)	0,24 $м^2$ (3)
0,048 м	0,23 $м^2$ (4)	0,27 $м^2$ (5)	0,32 $м^2$ (6)
0,058 м	0,27 $м^2$ (7)	0,33 $м^2$ (8)	0,38 $м^2$ (9)
0,07 м	0,33 $м^2$ (10)	0,4 $м^2$ (11)	0,46 $м^2$ (12)

Таблиця 5.1 Розрахунок площі 1-єї трубок для різних наборів розміру

Для даної роботи був використаний сонячний колектор з кількістю трубок 15 та поглинаючою площею 2.35 $м^2$ (паспортні дані). Тому наступний

крок буде розрахунок для 15 трубок, щоб розрахувати загальну площу сонячного колектору.

Комбінація	Площа 1-еї трубки $м^2$	Загальна площа (15 трубок) $м^2$
(1)	0,17	2,5
(2)	0,21	3,15
(3)	0,24	3,6
(4)	0,23	3,45
(5)	0,27	4,05
(6)	0,32	4,8
(7)	0,27	4,05
(8)	0,33	4,95
(9)	0,38	5,7
(10)	0,33	4,95
(11)	0,4	6
(12)	0,46	6,9

Таблиця 5.2 Розрахунок площі сонячного колектору з 15 трубками

Трубки колектора здатні перетворювати сонячну енергію в тепло всією своєю поверхнею, але найефективніше це перетворення відбувається на освітленій стороні колектора. Тому для визначення площі поглинання необхідно розділити загальну площу скляних трубок на 2. Отриманий результат буде наведений нижче.

Комбінація	Загальна площа (15 трубок) $м^2$	Загальна площа поглинання $м^2$
(1)	2,5	1,25
(2)	3,15	1,58
(3)	3,6	1,8
(4)	3,45	1,73
(5)	4,05	2,03
(6)	4,8	2,4
(7)	4,05	2,03
(8)	4,95	2,48
(9)	5,7	2,85
(10)	4,95	2,48
(11)	6	3
(12)	6,9	3,45

Таблиця 5.3 Значення загальної площі поглинання

Знайшовши загальну площу поглинання, розраховуємо площу поглинання для 1-єї трубки. Для цього розділимо загальну площу на 15

Комбінація	Загальна площа поглинання $м^2$	Площа поглинання 1-єї трубки $м^2$
(1)	1,25	0,08
(2)	1,58	0,11
(3)	1,8	0,12
(4)	1,73	0,12

Таблиця 5.4 Площа поглинання 1-єї трубки

Продовження таблиці 5.4 Площа поглинання 1-єї трубки

Комбінація	Загальна площа поглинання $м^2$	Площа поглинання 1-єї трубки $м^2$
(5)	2,03	0,14
(6)	2,4	0,16
(7)	2,03	0,14
(8)	2,48	0,17
(9)	2,85	0,19
(10)	2,48	0,17
(11)	3	0,2
(12)	3,45	0,23

Так як дані щодо сонячної енергії мають значення у рамках 1 $м^2$, то підведемо попередні розрахунки під ці значення та знайдемо, скільки трубок буде міститися в 1 $м^2$ для різних комбінацій. Для цього розділимо 1 $м^2$ на площу поглинання однієї трубки. Отримаємо наступне. ≈

Комбінація	Площа поглинання 1-єї трубки $м^2$	Кількість трубок в 1 $м^2$ (приблизно)
(1)	0,08	$12,5 \approx 13$
(2)	0,11	$9,1 \approx 9$
(3)	0,12	$8,3 \approx 8$
(4)	0,12	$8,3 \approx 8$
(5)	0,14	$7,14 \approx 7$
(6)	0,16	$6,3 \approx 6$

Таблиця 5.5 Кількість трубок в 1 $м^2$ сонячного колектора

Продовження Таблиці 5.5

Комбінація	Площа поглинання 1-єї трубки $м^2$	Кількість трубок в 1 $м^2$ (приблизно)
(7)	0,14	$7,14 \approx 7$
(8)	0,17	$5,9 \approx 6$
(9)	0,19	$5,3 \approx 5$
(10)	0,17	$5,9 \approx 6$
(11)	0,2	5
(12)	0,23	$4,34 \approx 4$

Перед тим, як розрахувати потужність трубки за рік, треба окремо виписати інсоляцію (середньомісячну, тобто в 1 місяці в середньому буде приблизно 30 днів) за рік для Харкова.

Місяць	Інсоляція Вт*год/ $м^2$
Січень	32,1
Лютий	56,1
Березень	88,5
Квітень	118,8
Травень	157,5
Червень	156,6
Липень	157,5
Серпень	140,1
Вересень	93,6

Таблиця 5.6 Значення інсоляції для Харкова

Продовження Таблиці 5.6

Місяць	Інсоляція Вт*год/ $м^2$
Жовтень	58,2
Листопад	30,6
Грудень	25,8
12 місяців	1115,4

Звідси легко можно порахувати інсоляцію за рік, сумуючи значення за всі місяці. Окрім цього потрібне значення ККД. Існує основних 6 типів трубок зі своїми характеристиками, які були описані на початку цього розділу.

Вакуумні трубки першого типу η = 92-96% Для цих розрахунків візьмемо середнє значення ККД η = 94%

Вакуумні трубки другого типу η = 90-92% Для цих розрахунків візьмемо середнє значення ККД η = 91%

Вакуумні трубки третього типу η = 65 %

Вакуумні трубки четвертого типу η = 76%

Вакуумні трубки пятого типу η = 77%

Вакуумні трубки шостого типу η = 80%

Тепер маючи дані ми можемо розрахувати потужність 1-єї трубки (рік). Знаходиться за наступною формулою

$P1(\text{рік}) = Sp1 * \eta * Ins(\text{рік})$, де

Sp1 - площа поглинання 1-єї трубки

η - ККД

Ins(year) - середнє значення інсоляції в місті Харков за рік

Будуть проведені розрахунки для кожного типу вакуумних трубок. Дані будуть наведені нижче.

	Вакуумні трубки першого типу, η = 94%	Вакуумні трубки другого типу, η = 91%	Вакуумні трубки третього типу, η = 65%
Комбінація	P1(рік) кВт	P1(рік) кВт	P1(рік) кВт
(1)	84,9	81,2	58
(2)	115,3	111,7	79,8
(3)	125,8	121,8	87
(4)	125,8	121,8	87
(5)	146,8	142,1	101,5
(6)	167,8	162,4	116
(7)	146,8	142,1	101,5
(8)	178,2	172,6	123,3
(9)	199,2	192,9	137,8
(10)	178,2	172,6	123,3
(11)	209,7	203	145
(12)	241,1	233,5	166,8

Таблиця 5.7 Розрахунок потужності 1-єї трубки для вакуумних трубок першого. другого та третього типу

	Вакуумні трубки четвертого типу,η =76%	Вакуумні трубки пятого типу, η = 77%	Вакуумні трубки шостого типу, η = 80%
Комбінація	P1(рік) кВт	P1(рік) кВт	P1(рік) кВт
(1)	67,8	68,7	71,4

Таблиця 5.8 Розрахунок потужності 1-єї трубки для вакуумних трубок четвертого, п'ятого і шостого типу

Продовження Таблиці 5.8 Розрахунок потужності 1-єї трубки для вакуумних трубок четвертого, п'ятого і шостого типу

	Вакуумні трубки четвертого типу,η =76%	Вакуумні трубки пятого типу, η = 77%	Вакуумні трубки шостого типу, η = 80%
Комбінація	P1(рік) кВт	P1(рік) кВт	P1(рік) кВт
(2)	93,2	94,5	98,2
(3)	101,7	103,1	107,1
(4)	101,7	103,1	107,1
(5)	118,7	120,2	124,9
(6)	135,6	137,4	142,8
(7)	118,7	120,2	124,9
(8)	144,1	146	151,7
(9)	161	163,2	169,5
(10)	144,1	146	151,7
(11)	169,5	171,8	178,5
(12)	195	197,5	205,2

Після того, як порахували потужність однієї трубки за рік, для різних типів, знайдемо яку потужність Рм2(рік) буде виробляти 1 $м^2$ сонячного колектору. Отримані результати можно спостерігати нижче.

Таблиця 5.9 Розрахунок потужності для 1 $м^2$ сонячного колектору.

	Вакуумні трубки першого типу, η = 94%	Вакуумні трубки другого типу, η = 91%	Вакуумні трубки третього типу, η = 65%
Комбінація	Рм2(рік) кВт	Рм2(рік) кВт	Рм2(рік) кВт
(1)	1103,7	1055,6	754
(2)	1040,4	1005,3	718,2
(3)	1006,4	974,4	696

Продовження таблиці 5.9

(4)	1006,4	974,4	696
(5)	1027,6	994,7	710,5
(6)	1176,4	1136,8	696
(7)	1027,6	994,7	710,5
(8)	1069,2	1035,6	739,8
(9)	996	964,5	689
(10)	1069,2	1035,6	739,8
(11)	1048,5	1015	725
(12)	964,4	934	667,2

Таблиця 5.10 Розрахунок потужності для 1 $м^2$ сонячного колектору.

	Вакуумні трубки четвертого типу,η =76%	Вакуумні трубки пятого типу, η = 77%	Вакуумні трубки шостого типу, η = 80%
Комбінація	Рм2(рік) кВт	Рм2(рік) кВт	Рм2(рік) кВт
(1)	881,4	893,1	928,2
(2)	838,8	850,5	883,8
(3)	813,6	824,8	856,8
(4)	813,6	824,8	856,8
(5)	830,9	841,4	874,3
(6)	816,6	824,4	856,8
(7)	830,9	841,4	874,3
(8)	864,6	876	910,2
(9)	805	816	847,5
(10)	864,6	876	910,2

Продовження Таблиця 5.10 Розрахунок потужності для 1 $м^2$ сонячного колектору.

(11)	847,5	859	892,5
(12)	780	790	820,8

Так як за технічним паспортом у нас сонячний колектор має площу 2.35 $м^2$, то розрахуемо потужність для використанного колектору Рк за рік

Таблиця 5.11 Розрахунок потужності для 2.35 $м^2$ сонячного колектору.

	Вакуумні трубки першого типу, η = 94%	Вакуумні трубки другого типу, η = 91%	Вакуумні трубки третього типу, η = 65%
Комбінація	Рк(рік) кВт	Рк(рік) кВт	Рк(рік) кВт
(1)	2594	2481	1772
(2)	2445	2362	1688
(3)	2365	2290	1636
(4)	2365	2290	1636
(5)	2415	2338	1670
(6)	2765	2671	1636
(7)	2415	2338	1670
(8)	2513	2434	1739
(9)	2341	2267	1619
(10)	2513	2434	1739
(11)	2464	2385	1704
(12)	2266	2195	1568

Таблиця 5.12 Розрахунок потужності для 2.35 $м^2$ сонячного колектору.

	Вакуумні трубки четвертого типу,η =76%	Вакуумні трубки пятого типу, η = 77%	Вакуумні трубки шостого типу, η = 80%
Комбінація	Рк(рік) кВт	Рк(рік) кВт	Рк(рік) кВт
(1)	2071	2099	2181
(2)	1971	1999	2077
(3)	1912	1938	2013
(4)	1912	1938	2013
(5)	1953	1977	2055
(6)	1919	1937	2013
(7)	1953	1977	2055
(8)	2032	2059	2139
(9)	1892	1918	1992
(10)	2032	2059	2139
(11)	1992	2019	2097
(12)	1833	1857	1929

Розрахувавши потужність, яку буде видавати сонячний колектор з конкретними конфігураціями далі розрахуємо скільки енергії отримуємо в середньому за день Рд.

Таблиця 5.13 Розрахунок середнього значення енергії за день

	Вакуумні трубки першого типу, η = 94%	Вакуумні трубки другого типу, η = 91%	Вакуумні трубки третього типу, η = 65%
Комбінація	Рд(рік) кВт	Рд(рік) кВт	Рд(рік) кВт
(1)	7,1	6,8	4,9
(2)	6,7	6,5	4,6

Продовження таблиці 5.13 Розрахунок середнього значення енергії за день

	Вакуумні трубки першого типу, η = 94%	Вакуумні трубки другого типу, η = 91%	Вакуумні трубки третього типу, η = 65%
Комбінація	Рд(рік) кВт	Рд(рік) кВт	Рд(рік) кВт
(3)	6,5	6,3	4,5
(4)	6,5	6,3	4,5
(5)	6,6	6,4	4,6
(6)	7,6	7,3	4,5
(7)	6,6	6,4	4,6
(8)	6,9	6,7	4,8
(9)	6,4	6,2	4,4
(10)	6,9	6,7	4,8
(11)	6,8	6,5	4,7
(12)	6,2	6	4,4

Таблиця 5.14 Розрахунок середнього значення енергії за день

	Вакуумні трубки четвертого типу,η =76%	Вакуумні трубки пятого типу, η = 77%	Вакуумні трубки шостого типу, η = 80%
Комбінація	Рд(рік) кВт	Рд(рік) кВт	Рд(рік) кВт
(1)	5,7	5,8	5,8
(2)	5,4	5,5	5,7
(3)	5,2	5,3	5,5
(4)	5,2	5,3	5,5
(5)	5,4	5,4	5,6
(6)	5,3	5,3	5,5
(7)	5,4	5,4	5,6

Продовження Таблиця 5.14 Розрахунок середнього значення енергії за день

(8)	5,6	5,6	5,9
(9)	5,2	5,3	5,5
(10)	5,6	5,6	5,9
(11)	5,5	5,5	5,7
(12)	5	5,1	5,3

Таким чином для різних конфігурацій розрахувати середнє значення щоденного використання необхідної енергії для потреби людини. В господарстві зазвичай для нагріву води використовується 2-4 кВт. Ці розрахунки дозволяють вибрати зручний варіант індивідуально. Також треба пам'ятати, що зазвичай люди живуть сім'ями, тому значення витрат буде більшим, також треба підбирати колектори таким чином, щоб колектор мав на 20% більше потужності, адже не завжди може бути ясний день.

В цій роботі використано одна модель сонячного колектору, в якому розраховані різні варіанти конфігурацій. Тому ці розрахунки знадобляться при підборі будь якої моделі для власного користування.

Висновок

У даній роботі магістра проведено дослідження особливостей роботи геліосистем в системі теплопостачання житлових будинків. Розглянуто та проаналізовано різні види опалення то його види. Детально розглянуті та описані принципи роботи сонячних колекторів. Зроблено узагальнення тенденцій використання сонячної енергії в енергозберігаючих будинках. Оглянено види установок та визначений певний набір конфігурацій для сонячних колекторів. Проведено розрахунки для різних наборів певних геліосистем та проаналізовані отримані дані, які кожен може використати для комфортного облаштування своєї оселі.

Список використаних джерел

1. Геліосистеми теплопостачання житлових будівель для експлуатаційних умов Республіки Білорусь: рекомендації щодо проектування. – Мінськ: БНТУ, 2017
2. Відновлювані джерела енергії: навчальний посібник для вузів/А. Дж. Обозов, Р.М. Ботпаєв - Бішкек, вид. 2010 р.
3. Dennis Holloway. Пасивний сонячний будинок: Простий метод проектування. Методика проектування систем опалення пасивних сонячних будинків на основі принципів прямого та непрямого обігріву.
4. Даффи Дж. А., Бекман У. А. Тепловые процессы с использованием солнечной энергии. – М. : Мир, 1977.
5. Сарнацкий Э. В. Системы солнечного тепло- и хладоснабжения/ Сарнацкий Э. В., Чистович С. А. – М. : Стройиздат, 1990.
6. Пат. 102598. Україна. Сонячний колектор / А. І. Ценципер, Н. О. Сафонов, С. Ф. Лушпенко. – Опубл. 25.07.2013, Бюл. № 14.
7. Бринкворт, Б. Дж. Солнечная энергия для человека / Б. Дж. Бринкворт. – М.: Мир, 1976.
8. http://teplodom1.ru/domotopl/274-geliosistemy-dlya-doma-stoit-li-primenyat.html
9. https://v-teple.com/gelioustanovki/otoplenie-doma-s-pomoshhyu-geliosistemy.html
10. https://diatec.com.ua/geliosistema-2/
11. https://teplo-ltd.ru/otoplenie/geliosistema-dlya-otopleniya-doma.html
12. https://solarsoul.net/solnechnye-kollektory-dlya-otopleniya-pomeshhenij
13. https://sistema-otopleniya.ru/raschety-otoplenija/raschet-geliosistemy-dlja-otoplenija.html
14. https://otoplenieblog.ru/tsentralnoe-otoplenie/geliosistemy/mozhno-li-sdelat-solnechnyj-kollektor-dlya-otopleniya-doma.html

15. https://teplospec.com/alternativnoe-otoplenie/solnechnoe-otoplenie-doma-svoimi-rukami-printsip-izgotovleniya.html
16. https://avtonomnoeteplo.ru/altenergiya/45-effektivnoe-otoplenie-zagorodnogo-doma-solnechnymi-batareyami.html
17. https://erp-mta.ru/kommunikatsii/otoplenie/geliosistema-dlya-otopleniya-doma-100-kv-m/
18. https://skr-group.com/a434141-ispolzovanie-geliosistem-solnechnoj.html
19. https://optonimpex.com/a162084-solnechnyj-kollektor-dlya.html
20. http://www.uniexo.ru/geliosistemy-dlya-otopleniya-doma-svoimi-rukami
21. https://bt-service.ua/geliosistemy-dlya-obespecheniya-goryachego-vodosnabzheniya-i-otopleniya
22. https://prisma-group.com.ua/project/geliosistema-chastnogo-doma/
23. https://220volt.com.ua/news/useful/alternativnaya-energetika/geliosistemi-otveti-na-chastozadavaemie-voprosi.html
24. https://mycond-heatpump.com.ua/teplovoy-nasos-i-solnechnyy-kollektor/
25. https://re-st.ru/articles/solnechnye-kollektory-dlia-otopleniia-doma-vozmozhnosti/
26. https://vteple.xyz/raschet-solnechnogo-kollektora-dlya-otopleniya-doma/
27. https://andi-grupp.ru/informatsiya/stati/teplonositel-dlya-solnechnykh-sistem-otopleniya/
28. https://pvsservice.ru/sistemy-otopleniya/geliosistemy-dlya-otopleniya.html
29. http://www.tvk-centr.com.ua/stati/37-geliosistema-paketnye-predlozheniya.html
30. https://modernsys.com.ua/ustanovka-solnechnyh-kollektorov.html
31. https://nastroike.com/dom-i-dacha/solnechnyj-kollektor-dlya-otopleniya-doma-vidy-sostav-geliosistem-raschet-i-osobennosti-montazha

32. https://www.ivd.ru/stroitelstvo-i-remont/otoplenie/kollektornye-geliosistemy-kak-s-ih-pomoshchyu-organizovat-otoplenie-i-vodosnabzhenie-doma-48611
33. http://donviga.ru/geliosistemi.html
34. https://utem.org.ua/materials/show/kak_rasschitat_neobhodimoe_kolichestvo_solnechnyh_kollektorov
35. https://energotrade.su/blog/tipy-vacuumnyh-trubok.htm
36. https://www.solarhome.ru/basics/solar/solar-heat/vacuum-tubes.htm
37. http://www.stroitel.lg.ua/poleznye-stati/otoplenie-i-gazosnabzhenie/raschet-moshhnosti-solnechnogo-kollektora/description.html
38. https://teplota.com/raschet-/
39. Учебно-методическое пособие / сост. : В. А. Коротинский, В. Ф. Клинцова, А. В. Ожелевский. - Минск : БГАТУ, 2017
40. https://kamin-expert.ru/otopitelnaya/solnechnyie-kollektoryi-dlya-otopleniya-doma.html