МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
ім. Ю.М. ПОТЕБНІ

КАФЕДРА ЕЛЕКТРИЧНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА КІБЕРФІЗИЧНИХ СИСТЕМ

**Кваліфікаційна робота**

другий магістерський

(рівень вищої освіти)

на тему: «Оцінка ефективності та надійності використання геліоустановок для теплоспоживання будинків»

Виконав: студент II курсу,
групи 8.1443
спеціальності 144 Теплоенергетика
освітньої програми «Теплоенергетика»
Бриза Андрій Євгенович
(прізвище та ініціали)

Керівник доц., к.т.н., Башлій С.В.
(вчене звання, наукова ступінь, прізвище та ініціали)

Рецензент к.т.н., доцент Воляр Р.М
(вчене звання, наукова ступінь, прізвище та ініціали)

Запоріжжя

2024

**ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**
**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**
**ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ**
**ім. Ю.М. ПОТЕБНІ**

Кафедра Електричної інженерії та кіберфізичних систем

Рівень вищої освіти другий магістерський

Спеціальність 144 Теплоенергетика

Освітня програма Теплоенергетика

**ЗАТВЕРДЖУЮ**
Завідувач кафедри

«____» _____ 2024 року

# З А В Д А Н Н Я

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ
Бринзі Андрію Євгеновичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема роботи (проекту) «Оцінка ефективності та надійності використання геліоустановок для теплоспоживання будинків».
Керівник роботи доц., к.т.н., Башлій С.В.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом ЗНУ від «30» вересня 2024 р. №1185-с

1 Строк подання студентом роботи 9 грудня 2024 року.
2 Вихідні дані до роботи Розрахувати економічну доцільність використання сонячних колекторів залежно від їх типу та умов експлуатації.
3 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): 1. Аналіз світових та українських трендів у сфері сонячної енергетики. 2. Опис основних видів сонячних колекторів (плоскі, вакуумні) та їх характеристик. 3. Розрахунок ефективності роботи геліоустановок у залежності від географічного розташування. 4. Аналіз факторів, що впливають на продуктивність колекторів (кут нахилу, спектральний склад випромінювання, погодні умови). 5. Економічне обґрунтування використання геліоустановок для приватних будинків. 6. Дослідження термінів окупності сонячних колекторів залежно від їх потужності та вартості. 7. Оцінка впливу геліоустановок на зменшення використання традиційних енергоносіїв.

8.Рекомендації щодо оптимального вибору геліосистеми для різ об'єктів.

5 Консультанти розділів роботи

| Розділ | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата завдання видав |
|---|---|---|
| Розділ 1 | Башлій С.В., доцент | |
| Розділ 2 | Башлій С.В., доцент | |
| Розділ 3 | Башлій С.В., доцент | |
| Розділ 4 | Башлій С.В., доцент | |
| Розділ 5 | Башлій С.В., доцент | |
| Розділ 6 | Башлій С.В., доцент | |

7 Дата видачі завдання 28 лютого 2024 року.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № з/п | Назва етапів кваліфікаційної роботи | Строк виконання етапів роботи |
|---|---|---|
| 1 | Аналіз ефективності роботи сонячних геліоустановок у системах теплопостачання та водопостачання. | 23.05.2024 |
| 2 | Дослідження конструкційних особливостей поверхонь елементів геліосистем. | 30.07.2024 |
| 3 | Визначити параметрів для розрахунку геліосистеми. | 15.09.2024 |
| 4 | Розрахунок ефективності використання геліосистем. | 04.11.2024 |
| 5 | Розрахунок економічної ефективності та визначення терміна окупності. | 18.11.2024 |

Студент _____ А.Є. Бринза
(підпис) (ініціали та прізвище)

Керівник роботи (проекту) _____ С.В. Башлій
(підпис) (ініціали та прізвище)

**Нормоконтроль пройдено**

Нормоконтролер _____ С.В. Башлій
(підпис) (ініціали та прізвище)

# АНОТАЦІЯ

Бринза А.Є. «Оцінка ефективності та надійності використання геліоустановок для теплоспоживання будинків»

Кваліфікаційна випускна робота для здобуття ступеня вищої освіти магістра за спеціальністю 144 «Теплоенергетика». Науковий керівник - канд. техн. наук, доц. Башлій С.В. Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні Запорізького національного університету. Кафедра електричної інженерії та кіберфізичних систем, 2024 р.

В дипломній роботі досліджено ефективність та доцільність використання геліоустановок для теплопостачання. Об'єктом дослідження є геліоустановки, які включають плоскі сонячні колектори, циркуляційні насоси та водонагрівачі-бойлери. Предметом дослідження є режими їх експлуатації та вплив на економічну доцільність для приватних будинків, лікарень, ресторанів, готелів та промислових підприємств.

Проведено аналіз сучасного стану використання сонячних колекторів в Україні та світі, де встановлено, що ефективність цих установок досягає 70–85%. Розроблено рекомендації щодо оптимальних умов їх експлуатації, враховуючи кліматичні особливості України, та проведено розрахунок економії енергоресурсів при впровадженні таких систем. Отримані дані підтверджують актуальність теми для підвищення енергоефективності та зниження витрат на опалення та гаряче водопостачання.

Ключові слова: ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ, ПЛОСКИЙ СОНЯЧНИЙ КОЛЕКТОР, ГЕЛІОУСТАНОВКА, ККД, ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ, СОНЯЧНИЙ КОЛЕКТОР, ВОДОНАГРІВАЛЬНІ УСТАНОВКИ.

## ANNOTATION

Bryndza A. "Assessment of Efficiency and Reliability of Using Solar Systems for Heating Buildings"

Qualification thesis for obtaining a master’s degree in the specialty 144 "Thermal Power Engineering". Scientific supervisor – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor Bashliy S.V. Engineering Educational and Research Institute named after Yu.M. Potebnya, Zaporizhzhia National University. Department of Electrical Engineering and Cyber-Physical Systems, 2024.

This thesis investigates the efficiency and feasibility of using solar systems for heat supply. The research object includes solar installations consisting of flat solar collectors, circulation pumps, and water heaters (boilers). The subject of the research focuses on their operational modes and economic viability for private houses, hospitals, restaurants, hotels, and industrial facilities.

The study analyzes the current state of solar collector use in Ukraine and worldwide, demonstrating that their efficiency can reach 70–85%. Recommendations for optimal operational conditions considering Ukraine's climatic features are provided. Additionally, calculations of energy resource savings from implementing these systems are presented. The results confirm the relevance of the topic for improving energy efficiency and reducing heating and hot water supply costs.

Keywords: HEAT SUPPLY, FLAT SOLAR COLLECTOR, SOLAR SYSTEM, EFFICIENCY, PERFORMANCE ASSESSMENT, SOLAR COLLECTOR, WATER HEATING SYSTEMS.

# ВИЗНАЧЕННЯ, ПОЗНАЧЕННЯ, СКОРОЧЕННЯ, НОРМАТИВНІ ПОСИЛАННЯ

Визначення

**Теплоносій**: рідка або газоподібна речовина, яка використовується для передачі теплової енергії.

**Теплопостачання**: використання енергії сонячного випромінювання для опалення, гарячого водопостачання та технологічних потреб різних споживачів.

**ККД сонячного колектора**: співвідношення між тепловою потужністю колектора і загальною сонячною енергією, отриманою за той самий період часу на його загальній площі.

**Сонячний колектор:** Пристрій для поглинання енергії сонячного випромінювання та перетворення її в теплову енергіюю.

Скорочення

**ВДЕ** - поновлювані джерела енергії;

**ГС** - геліосистема;

**ГУ** - геліоустановка;

**МКР** - метод кінцевих різниць;

**СК** - сонячний колектор;

**ВСК** - вакуумний сонячний колектор;

**ПСК** - плоский сонячний колектор;

**ККД** - коефіцієнт корисної дії;

**СЛАР** - система лінійних алгебраїчних рівнянь;

**ТН** - теплоносій.

**СВУ** - сонячні водонагрівальні установоки.

**ЗМІСТ**

ВСТУП……10
1 ТЕХНІЧНІ ТА ТЕХНОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ РОЗРОБКИ І ВИКОРИСТАННЯ ГЕЛІОЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ ДЛЯ ГАРЯЧОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ ТА ОПАЛЕННЯ БУДІВЕЛЬ…….13
1.1 Сонячна енергія та її перетворення……...13
1.2 Сучасна геліоенергетика в Україні……...……19
1.3 Класифікація геліосистем…..……..21
1.4 Сонячні колектори…….……..25
1.4.1 Повітряні сонячні колектори……25
1.4.2 Вакуумні сонячні колектори……...……..27
1.4.3 Плоскі сонячні колектори……..29
1.5 Наближена методика розрахунку характеристик сонячних водонагрівальних установок……32
ВИСНОВОК ДО РОЗДІЛУ 1...…….38
2. ОБ'ЄКТ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ…….39
2.1 Об'єкт дослідження……..…39
2.2 Алгоритм розв'язання задачі теплопровідності……....39
ВИСНОВОК ДО РОЗДІЛУ 2……45
3. МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ…….46
3.1 Фізична постановка задачі……..…46
3.2 Геометрична постановка задачі…….47
3.3 Математична постановка задачі……..…48
ВИСНОВОК ДО РОЗДІЛУ 3……56
4 ФІНАНСОВИЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЕФЕКТИВНІСТЬ ТА РЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ…….57
4.1 Економічна ефективність……...…….58
4.2 Термін окупності сонячного колектора……62
4.4 Імовірність безвідмовної роботи акумуляторної батареї……63

4.3.1 Розрахунок надійності та вартості електроенергії автономної геліоустановки……...66
4.3.2 Рекомендації під час застосування пристроїв захисного відключення……...67
ВИСНОВОК ДО РОЗДІЛУ 4……..……..69
5 ПЛАНУВАННЯ ТА ВИТРАТИ НАУКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКОЇ РОБОТИ…….70
5.1 Організація науково-дослідницької роботи……..70
5.1.1 Планування етапів науково-дослідницької роботи…….70
5.1.2 Визначення трудомісткості науково-дослідницької роботи……..71
5.1.3 Визначення кількості виконавців науково-дослідницької роботи……71
5.1.4 Розрахунок тривалості етапів науково-дослідницької роботи…..73
5.1.5 Побудова стрічкового графіка виконання науково-дослідницької роботи……75
5.2 Розрахунок кошторису витрат на проведення науково-дослідницької роботи……75
5.2.1 Розрахунок вартості основних матеріалів……76
5.2.2 Розрахунок витрат на амортизацію устаткування……..78
5.2.3 Розрахунок затрат на електроенергію……..79
5.2.4 Розрахунок заробітної плати і відрахувань…….80
5.2.5 Накладні витрати……....83
5.2.6 Зведений кошторис витрат на проведення науково-дослідницької роботи……84
ВИСНОВОК ДО РОЗДІЛУ 5……85
6 ОХОРОНА ПРАЦІ…….……86
6.1 Основні відомості та завдання по розділу……86
6.2 Характеристика умов праці…….…...87
6.3 Промислова санітарія…….….88
6.4 Заходи з техніки безпеки……89

6.5 Заходи пожежної безпеки……...91
6.6 Розрахунок заземлення……...92
6.7 Охорона навколишнього середовища ……...95
ВИСНОВОК ДО РОЗДІЛУ 6……97
ВИСНОВОК……...98
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ……99

# ВСТУП

*Актуальність теми.* Використання відновлюваних джерел енергії, особливо сонячної, є одним з найважливіших напрямків розвитку сучасної енергетики. Причинами цього є як глобальна потреба у зменшенні залежності від викопних видів палива, так і прагнення скоротити викиди парникових газів з метою захисту клімату. У світовій енергетиці сонячна теплова енергія є другим за важливістю напрямком використання відновлюваних джерел енергії після вітроенергетики, що підкреслює її важливість в енергетичному балансі.

Наприкінці 2020 року у світі експлуатувалося понад 535 млн м² сонячних теплових систем загальною потужністю 374 ГВт. В Україні, незважаючи на великий потенціал сонячної енергетики, використання таких установок все ще перебуває на стадії активного розвитку. На кінець 2020 року було встановлено 6320 МВт сонячних електростанцій, в тому числі понад 55 тисяч домашніх сонячних систем потужністю від 3 до 30 кВт.

Сонячна енергія дозволяє значно скоротити витрати на опалення та гаряче водопостачання - до 90 % річного споживання традиційних видів палива. Особливо ефективними є сонячні колектори, які перетворюють до 70-85% сонячного випромінювання в теплову енергію, в той час як фотоелектричні панелі мають ефективність лише 14-18%.

Україна має достатній потенціал сонячної енергії для ефективної роботи таких систем протягом усього року. Середньорічна сонячна радіація в більшості регіонів країни створює сприятливі умови для використання сонячних систем в різних секторах, від приватних будинків до промислових об'єктів. Однак фактична продуктивність залежить від таких факторів як, географічна широта, кут нахилу колекторів, погодні умови, спектральний склад випромінювання та інші.

З огляду на зростаючий попит на енергозберігаючі технології, необхідність зменшення вуглецевого сліду та економічну доцільність використання геліосистем, дослідження їх ефективності та адаптації до умов

України є надзвичайно важливими.

Ця тема важлива не лише для енергетичного сектору, але й для екології та економіки, оскільки дозволяє оптимізувати використання природних ресурсів, сприяти енергетичній незалежності та впроваджувати сучасні технології в домогосподарствах та промисловості.

*Мета дослідження* - проведення комплексної оцінки ефективності та надійності використання геліоустановок для теплопостачання малоповерхових будівель в районі Великого Лугу м. Запоріжжя.

Для вирішення поставленої мети розв'язували такі завдання:

1. Вивчити існуючі установки, конструкції и приклади використання геліоустановок в України.

2. Вивчити методику розрахунку характеристик геліоустановок.

3. Вибір методу та його чисельна реалізація

4. Провести параметричний аналіз функціонування геліоустановок.

5. Виявити діапазон конструктивних параметрів геліоустановок, що забезпечують високу ефективність і надійність.

*Об'єкт цього дослідження* - плоский сонячний колектор.

*Наукова новизна* – створено математичну модель яка реалізована з урахуванням повної сонячної радіації та кута знаходження сонця протягом усього дня.

*Теоретична та практична значущість* - у результаті дослідження розроблено математичну модель нагріву теплоносія (води) для системи гарячого водопостачання. Розробка даних моделей відкриває перспективи створення більш досконалих математичних моделей для розрахунку сонячних колекторів з урахуванням усіх факторів, що впливають на ефективну роботу. Отримані результати можуть бути використані для побудови інформаційно-обчислювальних систем сонячного теплопостачання.

*Апробація роботи.* Результати роботи представлені на XVII університетській науково-практичній конференції студентів, аспірантів,

докторантів і молодих вчених «Молода наука-2024», що проходила 17-19 квітня 2024 року, опубліковано наукову статтю «Contemporary development trends of the heat energy in Ukraine» у науковому виданні Nauka I Studia, 2024. № 9. URL: https://nauka-i-studia.eu/ojs/index.php/pl_ojs/article/view/248

*Структура та обсяг кваліфікаційної випускної роботи*. Магістерська робота включає вступ, п’ять розділів, висновки та перелік джерел посилання з 40 позицій. Загальний обсяг складає 118 сторінок, у тому числі 15 рисунки та 13 таблиці.

# 1 ТЕХНІЧНІ ТА ТЕХНОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ РОЗРОБКИ І ВИКОРИСТАННЯ ГЕЛІОЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ ДЛЯ ГАРЯЧОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ ТА ОПАЛЕННЯ БУДІВЕЛЬ

## 1.1 Сонячна енергія та її перетворення

Сонячне випромінювання може генерувати тепло, яке запускає хімічні реакції або генерує електрику. Сонячної енергії, що надходить на Землю, є практично невичерпним ресурсом, який значно перевищує енергетичні потреби світу. За умови правильного використання, це дуже мінливе джерело може задовольнити всі майбутні потреби в енергії. У XXI столітті сонячна енергія, ймовірно, відновлюване джерело енергії стане більш привабливим, оскільки вона невичерпна, екологічно чиста і різко контрастує з обмеженою доступністю викопних видів палива, таких як вугілля, нафта і природний газ. Сонце — це найпотужніше джерело енергії, а сонячне світло є найбільшим джерелом енергії, яке отримує Земля. Потенціал сонячної енергії великий, щодня наша планета отримує в 200000 разів більше енергії у вигляді сонячного випромінювання, ніж електричної енергії, що виробляється в світі за один день. Сонячне випромінювання можна перетворити на теплову або електричну енергію.

Для того щоб перетворити сонячну енергію використовуються сонячні електростанції, що перетворюють сонячну енергію безпосередньо на придатну для використання електричну енергію, яку можна використовувати для живлення всіх видів приладів, що використовуються в побуті та на виробництві. Є багато різних видів сонячних електростанцій, які будуються по всьому світу. Такі як тарілчасті електростанції, концентраторні сонячні електростанції, баштові сонячні електростанції, фотоелектричні електростанції та ін.

Сонячні теплові системи та системи виробництва електроенергії збирають і концентрують сонячне світло для отримання високотемпературного тепла, необхідного для виробництва електроенергії.

Кожна сонячна теплоенергетична система складається з колектора сонячної енергії, який складається з двох основних компонентів. Він має відбивачі (дзеркала), які вловлюють сонячне світло та фокусують його на приймач. У більшості типів систем теплоносій в ресивері нагрівається, циркулює і використовується для виробництва пари. Пар перетворюється на механічну енергію в турбіні, яка приводить у дію генератор для вироблення електроенергії. Сонячні теплоенергетичні системи мають системи стеження, які утримують сонячне світло на приймачі протягом дня, коли сонце змінює положення на небі. Зазвичай вони мають велике поле або масив колекторів, які подають тепло до турбіни та генератора. Кілька сонячних теплових електростанцій у Сполучених Штатах мають дві або більше сонячних електростанцій з окремими батареями та генераторами.

Сонячні теплові електростанції також мають системи акумулювання теплової енергії, які дають змогу сонячним колекторам нагрівати систему акумулювання енергії протягом дня, а тепло із системи акумулювання використовується для вироблення електроенергії ввечері або в похмуру погоду. Такі системи також можуть бути гібридними, що використовують інші види палива (наприклад природний газ) як доповнення до сонячної енергії в періоди низької сонячної радіації.

Лінійні концентратори сонячної енергії працюють за принципом фокусування сонячного світла на вузькій лінії. Це досягається за допомогою довгих, вигнутих дзеркал, які нагадують параболічні жолоби. Сонячні промені, відбиваючись від дзеркал, збираються в одній точці – приймачі, розташованому вздовж фокусу дзеркала. Усередині приймача циркулює спеціальна рідина, яка нагрівається під дією сонячного випромінювання. Потім ця гаряча рідина передає тепло робочому тілу парової турбіни, яка виробляє електричний струм.

Електростанція з лінійним концентрувальним колектором має велику кількість або поле колекторів у паралельних рядах, які зазвичай орієнтовані в напрямку північ-південь для максимального збору сонячної енергії. Ця

конфігурація дає змогу дзеркалам відстежувати сонце зі сходу на захід протягом дня та постійно концентрувати сонячне світло на приймальних трубках.

Параболічний колектор має довгий відбивач параболічної форми, який фокусує сонячні промені на приймальній трубі, розташованій у фокусі параболи. Колектор нахиляється разом із сонцем, щоб сонячне світло було сфокусоване на приймачі, коли сонце рухається зі сходу на захід протягом дня.

Через свою параболічну форму жолоб може фокусувати сонячне світло в 30-100 разів більше за його нормальну інтенсивність на приймальній трубі, розташованій уздовж лінії фокусу жолоба, досягаючи робочих температур вище 400℃.

Найбільша у світі сонячна теплова електростанція, Solar Energy Generation System (SEGS), використовує лінійні концентраційні параболічні жолоби. Станція з дев'ятьма окремими установками розташована в пустелі Мохаве в Каліфорнії. Перша установка системи, SEGS I, працювала з 1984 по 2015 рік, друга установка, SEGS II, - з 1985 по 2015 рік, а SEGS III-VII (3-7), кожна потужністю 36 мегават (МВт) влітку, були введені в експлуатацію в 1986, 1987 і 1988 роках. CEC VIII та IX (8 та 9), кожна з чистою літньою потужністю 88 МВт, були введені в експлуатацію у 1989 та 1990 роках відповідно. Сім електростанцій SEGS III - IX, що експлуатуються в даний час, мають сукупну чисту літню потужність виробництва електроенергії близько 356 МВт, що робить їх одними з найбільших сонячних теплових електростанцій у світі. На додаток до SEGS, у США і в усьому світі працює багато інших параболічних проєктів з використанням сонячної енергії. Інші параболічні сонячно-електричні проекти в Сполучених Штатах:

1. Електростанція в Солані: 280 МВт, електростанція з двома установками з компонентом накопичення енергії в Джила Бенд, Аризона;

2. Mojave Solar Project: 280 МВт, два заводи в Барстоу, Каліфорнія;

3. Проект Genesis Solar Energy: установка потужністю 250 МВт із двома електростанціями в Блайте, Каліфорнія;

4. Nevada Solar One: електростанція потужністю 69 МВт біля Боулдер-Сіті, штат Невада.

Сонячні тарілчасті системи тарілки використовують дзеркальну тарілку. Щоб знизити витрати, дзеркальна тарілка зазвичай складається з безлічі невеликих плоских дзеркал, сформованих у формі тарілки. Поверхня у формі тарілки спрямовує і концентрує сонячне світло на термоприймач, який збирає і поглинає тепло і передає його генератору двигуна.

Найпоширенішим тепловим двигуном, що використовують в таких системах, є двигун Стірлінга. Ця система використовує рідину, нагріту ресивером, для переміщення поршнів і створення механічної енергії. Механічна енергія запускає генератор для виробництва електроенергії.

Сонячні тарілчасті системи завжди спрямовані прямо на сонце і концентрують сонячну енергію у фокусі тарілки. Коефіцієнт концентрації сонячної тарілки набагато вищий, ніж у лінійних концентруючих систем, і температура його робочої рідини вища за 750℃. Енергетичне обладнання, що використовується з сонячною тарілкою, має бути встановлене у фокусній точці тарілки.

Ще одним видом сонячних теплових станцій є сонячні баштові електростанції. У сонячній баштовій енергетичній башті використовується велике поле плоских дзеркал, що стежать за сонцем, званих геліостатами, для відбиття і концентрації сонячного світла на приймачі на вершині башти. Сонячне світло може бути сконцентроване до 1500 разів.

Деякі електростанції використовують воду як теплоносій. Передові конструкції експериментують з розплавленою нітратною сіллю через її чудову тепловіддачу і здатність акумулювати енергію.

Можливість акумулювання теплової енергії дає змогу системі виробляти електроенергію в хмарну погоду або вночі.

Міністерство енергетики США разом із кількома електроенергетичними компаніями побудувало й експлуатувало першу демонстраційну вежу сонячної енергії біля Барстоу, штат Каліфорнія, у 1980-х і 1990-х роках. У 2018 році у Сполучених Штатах працювали дві споруди таких сонячних електростанцій:

1) станція сонячної енергії «Іванпа»: установка з трьома окремими колекторними полями і вежами із сумарною вироблюваною електричною потужністю влітку 399 МВт у сухому озері Іванпа, Каліфорнія;

2) проєкт Crescent Dunes Solar Energy: 110-мегаватна установка з однією вежею з компонентом накопичення енергії в Тонапасі, штат Невада.

Сонячна енергія є одним з найбільш швидкозростаючих джерел відновлюваної енергії в світі, і, оскільки країни прагнуть затвердити своє домінуюче становище в зростаючій промисловості, провідна країна ніколи не залишається такою надовго.

Китай і США лідирують у сонячній енергетиці, на них припадає дві третини світового зростання сонячної енергетики. За останнє десятиліття сонячна енергетика пройшла довгий шлях.. Ще 2010 року світовий ринок був невеликим і сильно залежав від субсидій у таких країнах, як Німеччина та Італія. За останні п'ять років потужності сонячної енергетики збільшилися приблизно на 60 %, сягнувши 485,82 ГВт у 2018 році. А до 2020 року у світі буде встановлено понад 115 ГВт сонячних потужностей, що перевищує потужності всіх інших технологій разом узятих.

Вона також стає дедалі дешевшим видом енергетики, особливо в більш сонячних регіонах, де вона вже стала найдешевшою формою виробництва електроенергії, а найближчими роками вдосконалення технологій призведуть до того, що сонячна енергія буде ще дешевшою. На рисунку 1.1 представлено графік здешевлення 1 кВт сонячної електроенергії в різних країнах, у період з 2010-2018 рік.

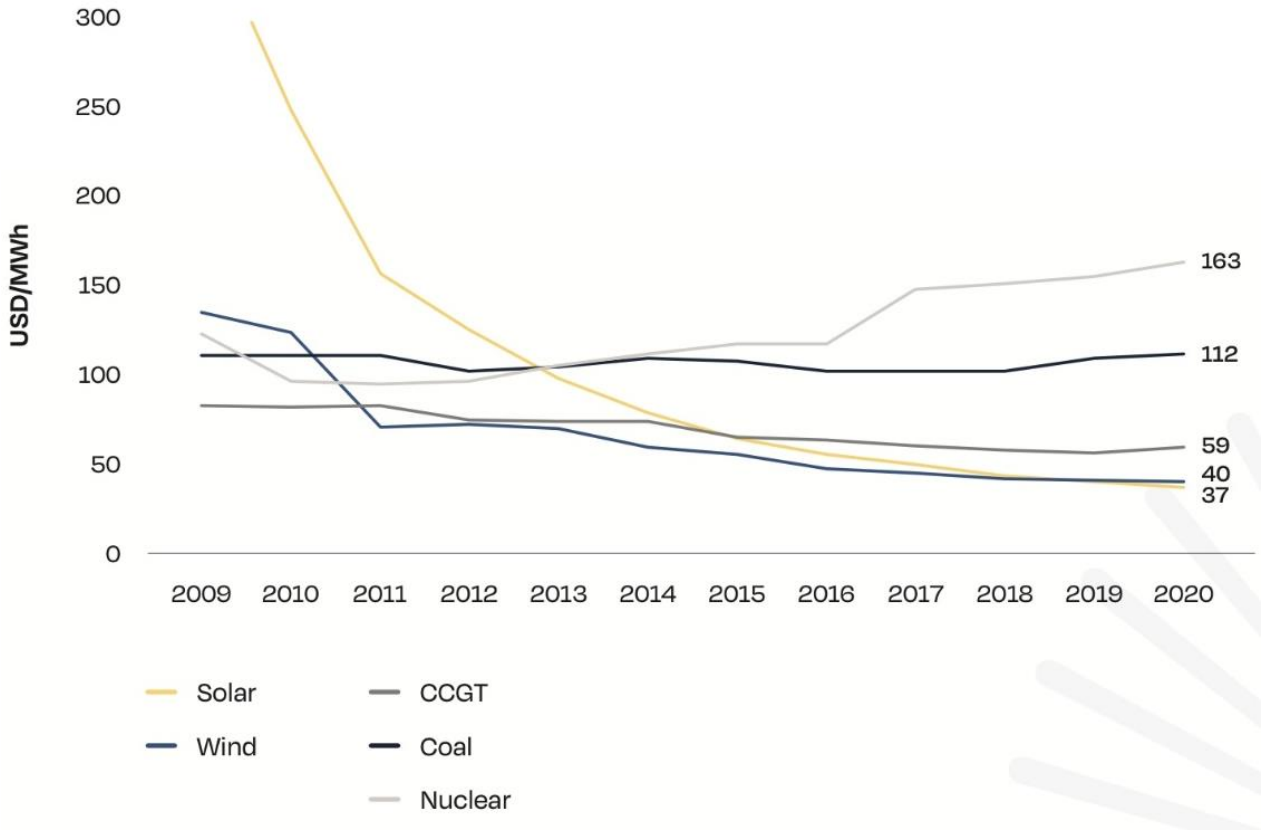



Рисунок 1.1 – Ціна електрики яка вироблена сонцем у порівнянні із іншими джерелами енергії

Цілком можливо, що до 2030 року сонячна енергія стане найважливішим джерелом електроенергії для більшої частини світу. Що матиме позитивний вплив на навколишнє середовище і зміну клімату.

У майбутньому сонячна індустрія має дуже чіткі плани щодо зниження витрат, які до 2030 року мають призвести до скорочення витрат на сонячну енергію. Вже є рух до більш високоефективних модулів, які можуть генерувати в 1,5 рази більше енергії, ніж наявні модулі аналогічного розміру. Проте вже зараз, найбільш поширеними і зручними для використання як у великомасштабних комерційних проєктах, так і в комунально-побутових є фотоелектричні електростанції.

## 1.2 Сучасна геліоенергетика в Україні

Сонячне теплопостачання у світі є другим за обсягами використання видом відновлюваних джерел енергії.

Сонячна енергія у вигляді спрямованого потоку сонячного випромінювання досягає верхньої межі атмосфери Землі. В середньому тепловий потік становить 1395 Вт $м^2$ (сонячна постійна). Частина випромінювання поглинається. Пряма і розсіяна складові теплового потоку вимірюються на поверхні.

Як зазначено в роботі, потік сонячної радіації до земної поверхні в нормальний рік становить 100-250 $Вт/м^2$ в залежності від місцевих кліматичних умов і широти, досягаючи свого піку опівдні в ясний день, майже всюди, близько 1000 $Вт/м^2$.

На рисунку 1.2 представлено тривалість сонячного сяйва на території України . Сумарна інтенсивність сонячної радіації змінюється в межах: у 810 – 1380 кВт·год/($м^2$ ·год).

На початок 2014 року в Україні експлуатується 307 ГС площею ($S_{GU}$ ) 16440 $м^2$ потужністю 13,15 МВт. У структурі ГП, що працюють за призначенням, на першому місці сонячно - паливні котельні, $S_{GU}$ =4756 $м^2$ (28,9%), потім ГП для готелів і санаторіїв $S_{GU}$ = 3826 $м^2$ (23,4%), практично однакова площа ГП для теплопостачання соціальних об'єктів і виробничих підприємств - $S_{GU}$ =3014 $м^2$ (18,3%) та 3000 $м^2$ (18,3%), відповідно. У гарячому водопостачанні (ГВП) односімейних будинків $S_{GU}$ = 1345 $м^2$ (8,2%). Мале поширення набули ГС для опалення односімейних будинків - $S_{GU}$ = 210 $м^2$ (1,3%), повітряні -S = 210 м(1,3%). $S_{GU}$ =40 $м^2$ (0,2%) і ГС плавальних басейнів - $S_{GU=}$ =21 $м^2$ (0,1%).




Рисунок 1.2 – Тривалість сонячного сяйва на території України

Згідно з класифікацією всесвітньої програми сонячного опалення і охолодження (SHS) більшість українських ГС з $S_{GU}$ = 14 596 м$^2$ , належить доцентралізованого сонячного теплопостачання.

У роботах зазначається, що в 2013 році експлуатувалася 151 ГУ з $S_{GU}$ =6573 м$^2$ (5,3 МВт). Здебільшого ГПпобудовані для готелів і санаторіїв,-$S_{GU}$ ≈ 3392 м$^2$; для виробничих об'єктів - $S_{GU}$ ≈1390 м$^2$ ; на соціальних об'єктах (лікарнях, дитячих садочках) і на котельнях - $S_{GU}$ ≈ 697 м$^2$ та $S_{GU}$ ≈532 м$^2$ .

Найбільша геліоустановка в Україні розташована у селищі Старозаводське Нікопольського району Дніпропетровської області. Це Нікопольська сонячна електростанція, яка є однією з найбільших в Європі. Її потужність складає близько 246 МВт, а площа займає приблизно 400 гектарів. Станція здатна забезпечувати електроенергією близько 100 тисяч

домогосподарств, що робить її важливим елементом енергетичної інфраструктури України. 97 ГС з $S_{GU} \approx 4200м^2$. Переважно встановлені ГП для виробничих і соціальних об'єктів, $S_{GU} \approx 3240$ м$^2$ (77,1%). На другому місці ГП тільки для гарячого водопостачання (ГВП) односімейних будинків - $S_{GU} \approx 710$ м$^2$ (16,9%). В односімейних будинках встановлюються ГП, що забезпечують опалення та ГВП - $S_{GU} \approx 210$ м$^2$ (5%). Об'єктів з повітряними опалювальними системами мало - $S_{GU} \approx 40$ м$^2$ (1%).

Покровська СЕС: Розташована в Дніпропетровській області побудовано 30 ГУ з $S_{GU} \approx 973$ м$^2$. Більшість експлуатуються в лікарнях - $S_{GU} \approx 520$ м$^2$ (53,4%) і різних базах відпочинку - $S_{GU} \approx 434$ м$^2$ (44,6%). Геліоустановки ГВП односімейних будинків не набулив регіоні поширення і становлять лише 20 м$^2$ (2%).

Експлуатується 28 ГС з $S_{GU} \approx 470$ м$^2$, з них: для ГВП лікарень - $S_{GU} \approx 177$ м$^2$ (37,6%), багатосімейних будинків - $S_{GU} \approx 164$ м$^2$ (34,9%) та односімейних будинків - $S_{GU} \approx 129$ м$^2$ (27,5%).

### 1.3 Класифікація геліосистем

Геліосистема - це система, яка дозволяє збирати сонячну енергію за допомогою колектора і перетворювати її в теплову шляхом передачі в теплообмінник, в якому циркулює рідина (теплоносій).

У роботі наголошується, що використання ГС, які складаються з СК, дає змогу економити ресурси традиційних джерел енергії та знижує шкідливі викиди в атмосферу під час вироблення енергії. Завдяки використанню практично невичерпної енергії сонця можна досягти позитивного економічного ефекту.

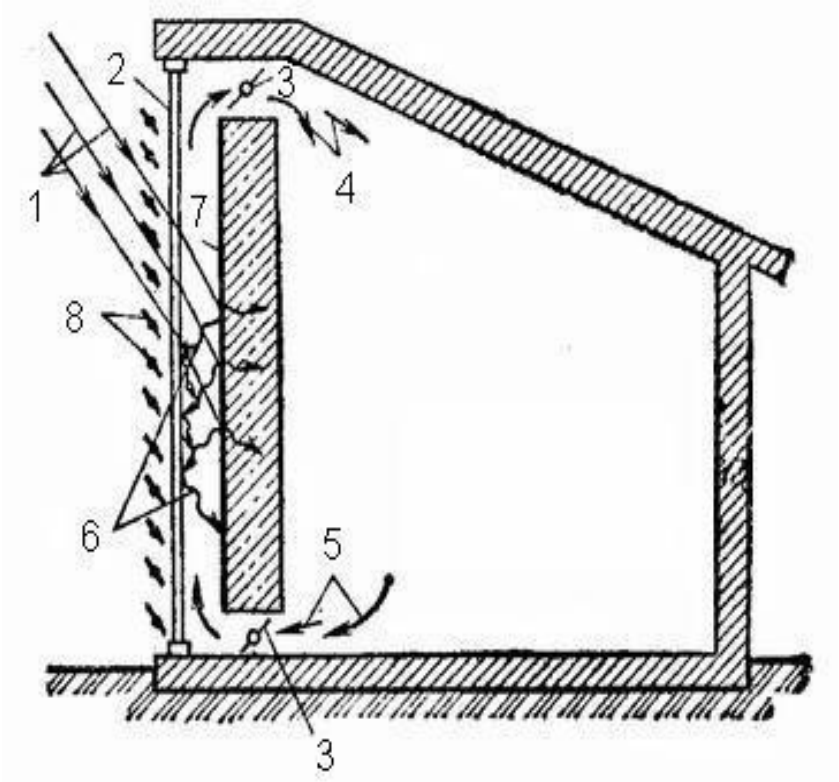
Використання геліосистем, це ефективний спосіб отримати безкоштовну теплову енергію від сонця. Завдяки замкнутому контуру з

теплоносієм, сонячна енергія перетворюється на теплову і передається воді для подальшого використання.

Основні елементи сонячної системи: сонячна панель, накопичувальний бак і циркуляційний насос. Сонячна панель виготовляється з матеріалів, які добре поглинають сонячне випромінювання, таких як чорний хром або селективні покриття. Накопичувальний бак зазвичай добре утеплюється, щоб зменшити втрати тепла.

За принципом роботи сонячні системи поділяються на: пасивні та активні.

Для пасивних систем характерно використовувати як елемент, що сприймає сонячну радіацію і перетворює її на теплоту, саму будівлю або її окремі огородження (будівля-колектор, стіна-колектор, покрівля-колектор тощо). Приклад пасивної системи теплопостачання наведено на рисунку 1.3.




1 - сонячні промені; 2 - променепрозорий екран; 3 - повітряна заслінка; 4 - нагріте повітря; 5 - охолоджене повітря з приміщення; 6 - власне довгохвильове теплове випромінювання масиву стіни; 7 - чорна променесприймальна поверхня стіни; 8 - жалюзі.

Рисунок 1.3 – Пасивна система сонячного опалення «стіна-колектор»

Активні ГС можна розділити на:

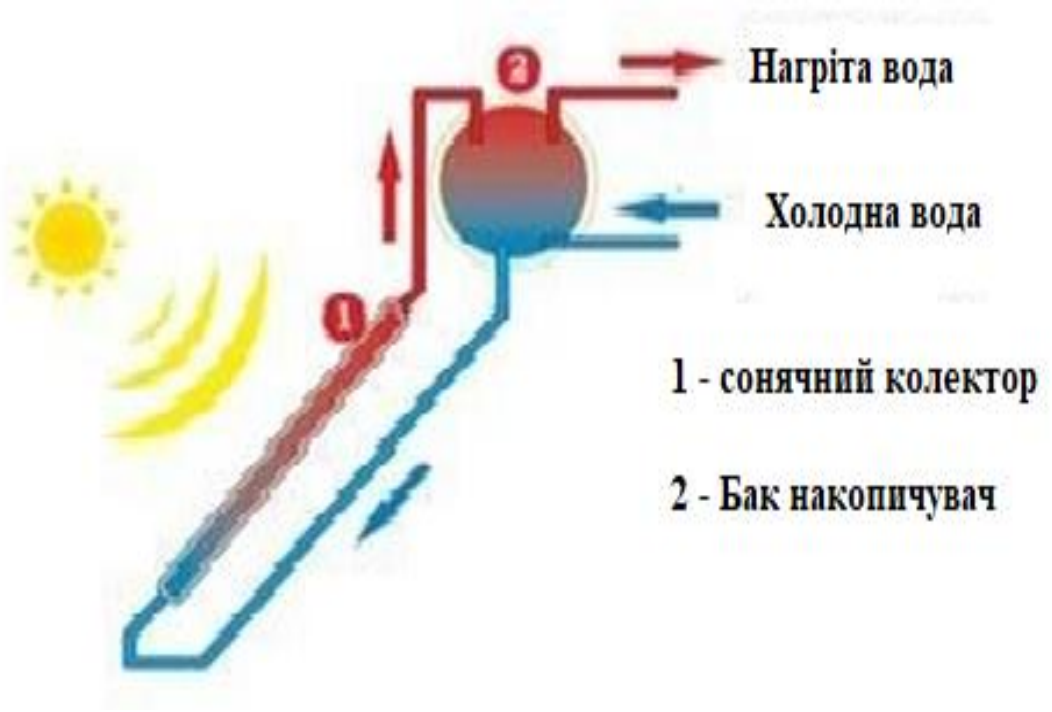
1. За призначенням: ГВП, опалення; для тепло- і холодопостачання.

2. За видом використовуваного ТН: рідинні (вода, антифриз); повітряні.

3. За способом циркуляції ТН: природна або примусова.

4. За тривалістю роботи: цілорічно або сезонно.

5. За технічним рішенням схем: одноконтурні (рис. 1.4), двоконтурні (рис. 1.5.), багатоконтурні.




1 - сонячний колектор; 2 – бак накопичувач.

Рисунок 1.4 - Схема одноконтурної геліоустановки з природною циркуляцією

Вода - теплоємний і широкодоступний ТН, тоді як повітря є незамерзаючим ТН. У зв'язку з цим у воду потрібно додавати незамерзаючу рідину за температур, нижчих за 0 °С. Але незважаючи на високу теплоємність, вода, насичена киснем, може спричиняти корозію трубопроводів та приладів. Однак, завдяки застосуванню сучасних матеріалів і технологій, цей недолік успішно компенсується. Крім того, загальні витрати

на метал при влаштуванні водяних систем, як правило, нижчі порівняно з повітряними системами.

Для сезонних геліосистем ГВП характерні одноконтурні схеми, які експлуатуються в літні та перехідні місяці (рис. 1.3), в періоди з позитивною температурою зовнішнього повітря. У ГС може бути додаткове джерело теплоти, все залежить від призначення об'єкта, що обслуговується, та умов експлуатації.

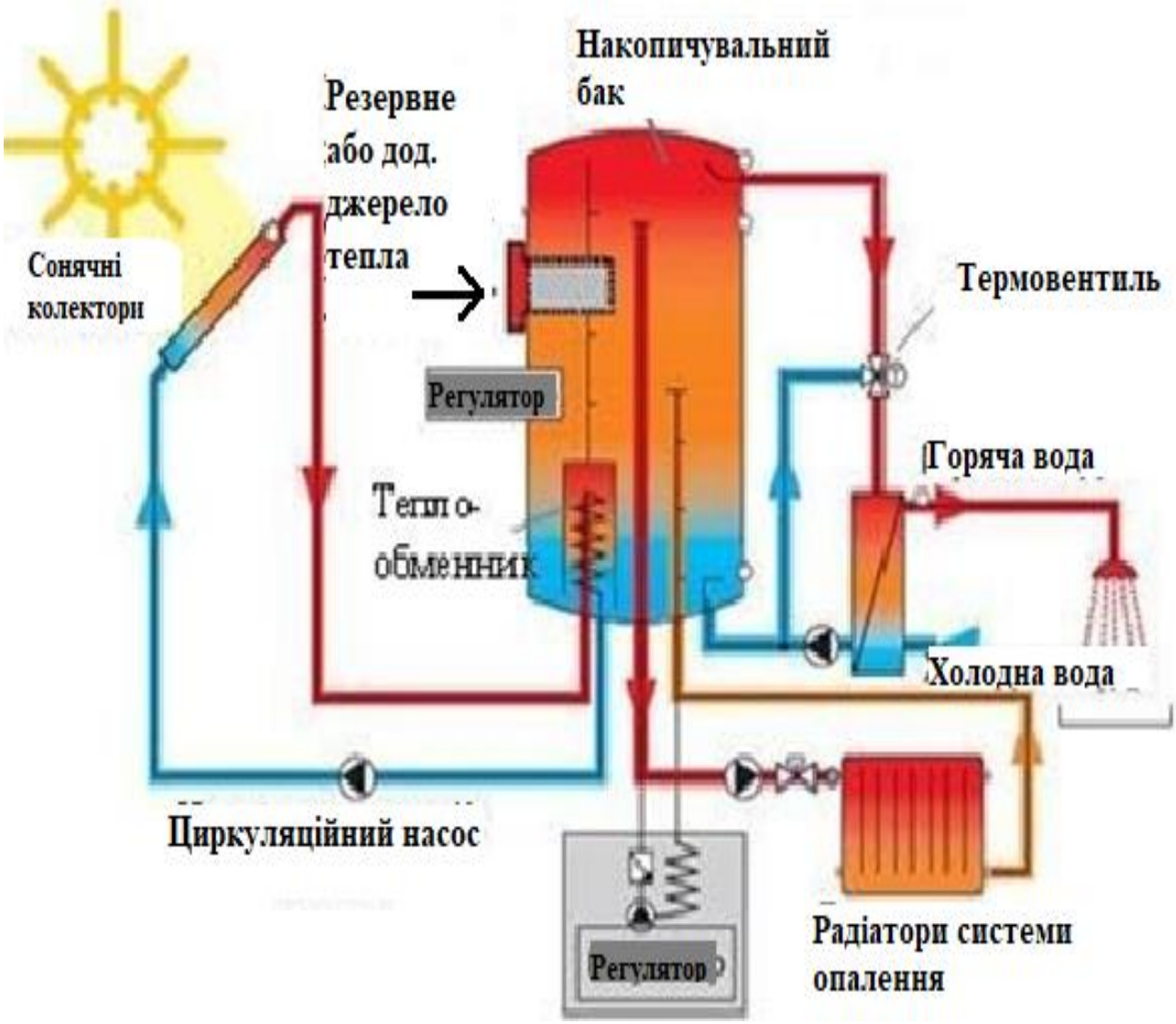



Рисунок 1.5 – Варіант двоконтурної геліоустановки для гарячого водопостачання та опалення з примусовою циркуляцією

Для опалення будівель використовують двоконтурні або багатоконтурні ГУ. У таких системах можна використовувати різні теплоносії для різних контурів: водні розчини незамерзаючих рідин у сонячному контурі, воду в проміжних контурах і повітря в контурі споживача.

Комбіновані ГС, як правило, використовуються цілий рік для опалення та охолодження будівель і містять додаткове джерело тепла у вигляді традиційних нагрівальних елементів на органічному паливі або теплових трансформаторів.

### 1.4 Сонячні колектори

На сьогодні СК є найефективнішими пристроями, що використовують енергію сонця. Можемо порівняти, ККД фотоелектричних панелей становить близько 14 -18%, а СК ефективно використовується 80 - 95% поглиненої сонячної енергії.

За конструктивними особливостями СК бувають: повітряні та водяні. Водяні СК поділяються на: вакуумні та плоскі.

#### 1.4.1 Повітряні сонячні колектори

Повітряні сонячні колектори (СК) призначені для нагріву повітря за допомогою сонячної енергії. Основною метою використання такого обладнання є зниження традиційних витрат енергії на обігрів приміщень або підтримання комфортних температур в різних системах. Повітря проходить через спеціальний колектор, поглинає сонячне випромінювання, нагріває його і потім використовується для вищевказаних цілей.

Сонячний колектор представляє собою плоску панель, прикріплену до південного фасаду будівлі (рис. 1.6). Абсорбер складається з пластин з високопровідних металів (мідь, алюміній), але може бути виготовлений і з

пластику. Повітря нагрівається при безпосередньому контакті з абсорбційною пластиною. Абсорбуючий матеріал буває ребристим або перфорованим для збільшення поверхні теплообміну. СК має бути добре ізольованим, щоб зменшити втрати тепла. Циркуляція повітря в таких системах може здійснюватися природним шляхом або примусовою за допомогою вентиляторів.

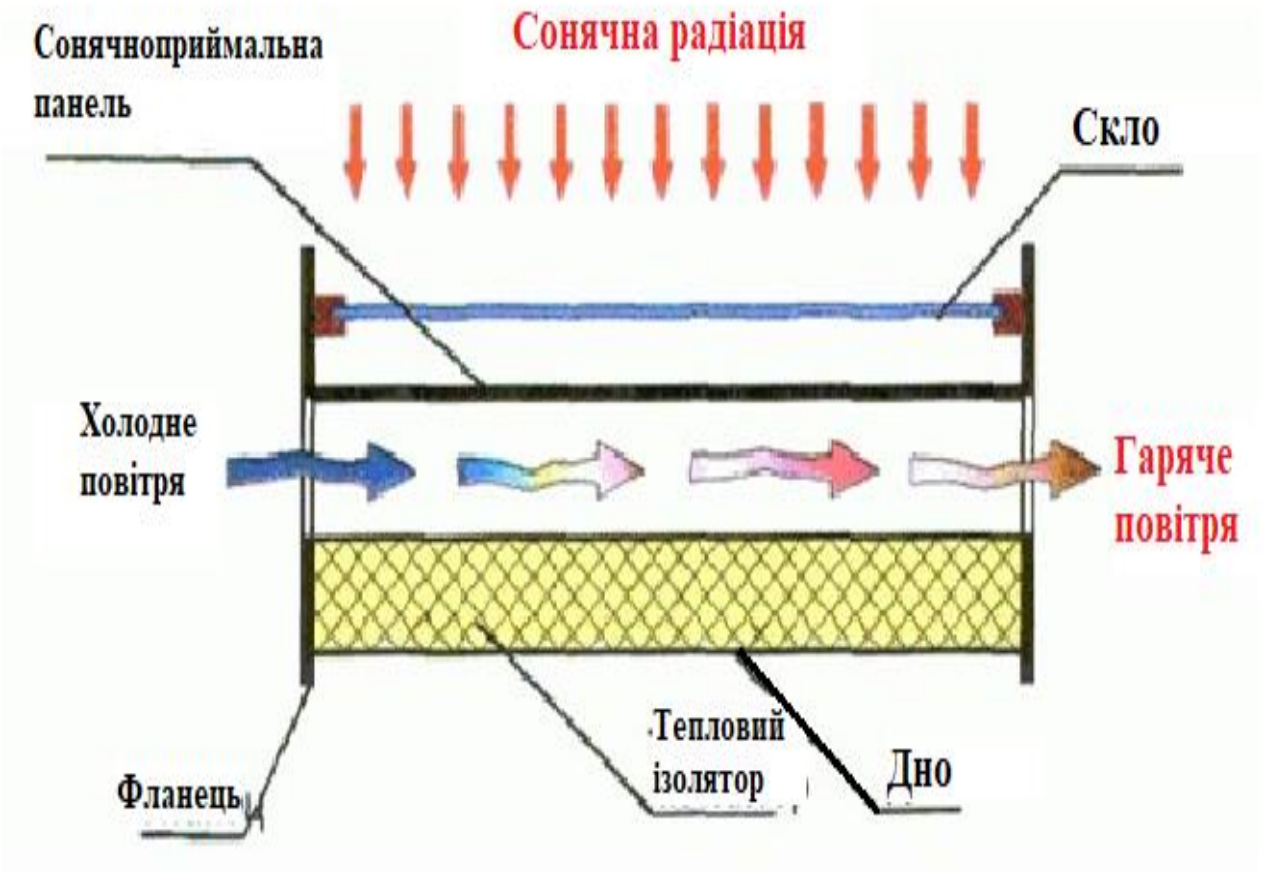



Рисунок 1.6 - Схема роботи повітряного сонячного колектора

Повітряні колектори працюють при досить низьких температурах. Для роботи газового колектора температура колектора повинна бути від 25 до 30°С. Зменшення тепловтрат підвищує ефективність системи. Однак застосування таких систем дуже обмежене через низьку теплопровідність повітря. Завдяки повітряному колектору Ви можете значно заощадити енергоресурси у Вашій системі повітряного опалення.

Його переваги: простота, ефективність при використанні в сушильних системах, дешевизна.

Недоліки повітряних колекторів: низькі теплоємність повітря і ККД, що призводить до збільшення габаритів установок; інтегрування колектора в приміщенні, що обігрівається, для збільшення ефективності.

### 1.4.2 Вакуумні сонячні колектори

В основі конструкції вакуумного сонячного колектора (ВСК) закладена система ізоляції мідного абсорбера. Кожна мідна трубка вставлена в запаяну по кінцях скляну посудину циліндричної форми і має свою власну ізоляцію. Вакуум - теплоізоляційний матеріал, що не проводить теплоту, повністю виключаючи втрати на конвекцію і теплопровідність, зводить загальні теплові втрати колектора до мінімуму. Це забезпечує високий ККД колектора навіть за слабкого розсіяного сонячного випромінювання в хмарний день, а також за негативної температури зовнішнього повітря.

Порівняно з іншими типами колекторів, ВСК виробляють на 30 – 40% більше теплової енергії протягом року.

Скляні труби ВСК дають змогу сонячним променям завжди падати на приймальну поверхню мідних трубок під прямим кутом, зводячи відображення до мінімуму. Трубки виконані з ударостійкого скла, здатного витримати удари граду навіть великого розміру або падіння колектора з невеликої висоти. За рахунок мінімальної товщини стінок скляних трубок ВСК мають найменшу теплову інерцію. Завдяки цьому він набагато швидше звільняється від заледеніння, інею, снігу.

Трубки абсорбера виконуються U-подібної форми, або коаксіально, тобто у вигляді двох трубок різного діаметра, вставлених одна в одну. По внутрішній трубці вниз подається холодна рідина, що нагрівається в міру руху. Частково прогріта вода спрямовується вгору по зовнішній трубці, де

сильніше нагрівається і частину своєї теплоти віддає внутрішній трубці, яка гріє чергову порцію води.

Розрізняють ТСК:

- з прямою тепловіддачею воді;
- з прямою тепловіддачею воді та вбудованим теплообмінником;
- з термотрубками.

Перший тип ще називають термосифонними системами, оскільки працюють на принципі природної конвекції, перевагою яких є безпосереднє передавання теплоти воді без участі інших елементів.

Другий тип має всі переваги попереднього типу ТСК.

Відмінністю є наявність вбудованого в бак ефективного теплообмінника, що дає змогу під'єднати колектор із баком до напірної мережі водопостачання. Можливість роботи за невеликих мінусових температур, якщо у водогрійний контур додати незамерзаючої рідини. Оскільки вода, що витрачається, проходить тільки внутрішнім мідним теплообмінником, об'єм ТН постійний, у колекторі не відкладаються солі жорсткості та інші забруднення.

Головний елемент третього типу ТСК - термотрубка - закрита мідна труба з невеликим вмістом легкокиплячої рідини, робота яких заснована на принципі теплової труби. Основною перевагою такого типу ТСК є випаровування рідини за температури близько 30°С, а за меншої температури трубка "замикається" і додатково зберігає теплоту.

Для ТСК виділяють такі переваги:

- високі робоча температура і ККД;
- відсутність ймовірності заморозки (для пароконденсатних);
- здатність уловлювати пряму і розсіяну радіацію;
- стаціонарна установка без застосування геліослідкових пристроїв;
- відсутність умов для корозії. Недоліками ТСК є:
- крихкість світлопрозорого листового покриття;
- невелика площа абсорбера;

- відношення апертурної площі до загальної площі плоского СК;

- висока вартість;

- неможливість реалізації режиму примусової відтаювання снігу, що випав, без впровадження додаткових систем.

### 1.4.3 Плоскі сонячні колектори

Плоскі сонячні колектори (ПСК) є простими та надійними пристроями для перетворення сонячної енергії на тепло. Вони складаються з прямокутної панелі з високоефективним поглиначем, який покритий селективним шаром для максимального поглинання сонячної радіації. Теплоносій (зазвичай вода або антифриз) циркулює по трубках, вмонтованих у поглинач, забираючи тепло і передаючи його в систему опалення. Завдяки високій ефективності та довговічності (до 50 років), ПСК є одним з найпоширеніших типів сонячних колекторів.

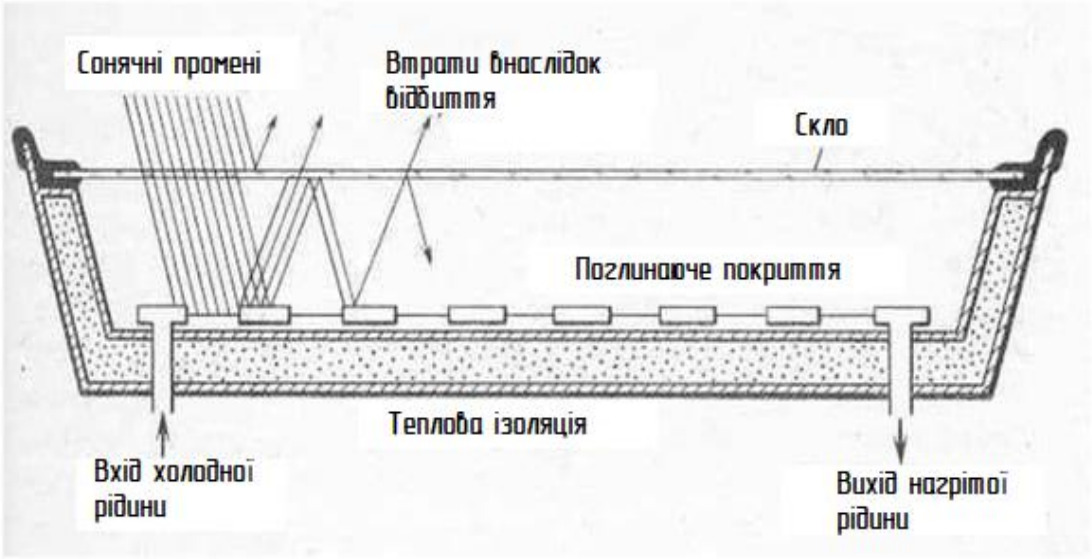



Рисунок 1.7 - Схема роботи  плоского сонячного колектора




Рисунок 1.8 - Схема плоского сонячного колектора

ПСК складаються з декількох шарів:

- прозорий зовнішній шар (загартоване скло);

- робочий шар, що поглинає (покритий чорною фарбою або спеціальним селективним покриттям);

- світловідбивний шар (ефективність поглинання зростає до 95%, використовується не завжди);

- шар термоізоляції (наприклад, поліізоціанурит).

Для прозорого шару крім скла може застосовуватися особливий рифлений полікарбонат. У найпростішому виконанні - пара полікарбонатних листів, закріплених на алюмінієвій рамі.

Абсорбер - ключова частина ПСК. У ньому відбувається процес перетворення сонячної енергії в теплову енергію, яка передається з поверхні абсорбера ТН. Виготовляють із різних матеріалів: мідь, алюміній, скло, може мати різну форму. Для максимального поглинання сонячного випромінювання на абсорбер наносять спеціальне поглинаюче селективне покриття.

Використовують абсорбери пір'яного або суцільнолистового типів.

У пір'яних абсорберах до окремих пластин прикріплені трубки, які з'єднуються між собою у вигляді арфи. Таке з'єднання називають колекторним типом.

У цільнолистого абсорберах система розподілу ТН може бути у вигляді меандру або ж трубок колекторного типу.

Корпус ПСК розроблен для поєднання в одне ціле всіх його частин, надійним захистом від несприятливих природних явищ і приєднання колектора до конструкції будинку. Найчастіше його виконують з анодованого алюмінію у вигляді рамки, зворотний бік якої закривається плоскою панеллю з алюмінію або пластику для полегшення ваги. У корпусі вбудовано два патрубки з міді або зшитого поліетилену, через які входить і виходить ТН.

Виділяють такі переваги ПСК:

- велика площа абсорбера;
- відношення апертурної площі до загальної площі;
- низька вартість, простота виготовлення;
- здатність уловлювати пряму і розсіяну радіацію;стаціонарна установка без застосування геліослідкових пристроїв;
- можливість реалізації режиму примусового відтавання снігу, що випав, без впровадження додаткових систем;

- вартість ГУ можна суттєво зменшити поєднанням конструкції покрівлі з ПСК.

До недоліків ПСК відносять:

- крихкість світлопрозорого листового покриття;
- низький ККД за високих температур абсорбера;
- можливість замерзання ТН взимку;
- максимальна робоча температура ТН не перевищує 100 ºС)
- корозія.

## 1.5 Наближена методика розрахунку характеристик сонячних водонагрівальних установок

ПСК майже завжди встановлюють нерухомо, їхню орієнтацію оптимізують для конкретного місця його розташування та для пори року, протягом якої планують роботу СВУ.

Геометричні співвідношення між положенням сонячних панелей і траєкторією Сонця мають вирішальне значення для ефективності сонячних електростанцій. Іншими словами, від того, під яким кутом панелі повернені до Сонця, залежить, скільки сонячної енергії вони зможуть перетворити на електрику.

Під час розрахунку ПСК необхідно знати, скільки сонячної енергії потрапляє на його поглинаючу панель. Падаюче сонячне випромінювання містить три складові випромінювання, пряме, розсіяне і відбите від земної поверхні, причому кожна складова розглядається окремо.

У разі падіння прямої сонячної радіації на скло (прозору ізоляцію) показники заломлення випромінювання в склі ( $n_1$ ) і повітрі ( $n_2$ ), кути падіння і заломлення $\theta_1$ і $\theta_2$ за законом Снелліуса пов'язані таким чином:

$$n_1 \cdot \mathrm{Sin}(\theta_1) = n_2 \cdot \mathrm{Sin}(\theta_2). \quad (1.1)$$

За нормального падіння випромінювання до площини скла, з урахуванням того, що одним із середовищ є повітря, показник заломлення якого має значення, близьке до 1, співвідношення набуває вигляду:

$$r(0) = \left(\frac{n_2 - 1}{n_2 + 1}\right)^2 \quad (1.2)$$

В таблиці 1.1 представлені середні значення показників заломлення $n_2$ для деяких матеріалів прозорих покриттів.

Таблиця 1.1 Показники заломлення деяких матеріалів покриттів

| Матеріал покриття | Середнє значення $n_2$ |
|---|---|
| Скло | 1,526 |
| Поліметилметакрилат | 1,49 |
| Полівінілфторид | 1,45 |
| Поліфторований етиленпропілен | 1,34 |
| Поітетрафторетилен | 1,37 |
| Полікарбонат | 1,60 |

Коефіцієнт поглинання сонячного випромінювання прозорою ізоляцією (склом):

$$\tau_\alpha = \exp\left(\frac{K \cdot L}{\cos(\theta_2)}\right) \quad (1.3)$$

де K - питомий коефіцієнт поглинання сонячного випромінювання склом; L - товщина скла.

Зазначено, що пропускна здатність прозорого покриття для розсіянох сонячної радіації дорівнює пропускної здатності прямого сонячного випромінювання, що падає під кутом 60°.

Під час розрахунків теплових процесів у колекторах застосовується поняття наведеної поглинальної здатності ($\tau_\alpha$), де $\tau$ - пропускна здатність покриття за певного кута падіння; $\alpha$ - спрямована поглинальна здатність абсорбера.

Таким чином, наведена поглинальна здатність ($\tau_\alpha$) є властивістю системи: покриття - абсорбер, а не добутком значень двох властивостей і визначається за багаторазового відбиття за формулою:

$$(\tau_\alpha) = \frac{\tau_\alpha}{1 - (1 - \alpha) \cdot \rho_d} \quad (1.4)$$

де $\rho_d$ - величина, що характеризує відбиття розсіяного сонячного випромінювання від тильного боку прозорого покриття.

Значення поглиненої абсорбером сумарної сонячної радіації визначається за формулою:

$$I_s = I_p \cdot R_p \cdot (\tau_\alpha)_p + I_r \cdot (\tau_\alpha)_r \cdot \left(\frac{1+\cos(\beta)}{2}\right) + I_s \cdot \rho_q \cdot (\tau_\alpha)_q \cdot \left(\frac{1-\cos(\beta)}{2}\right), \quad (1.5)$$

де $I_p$ - пряма сонячна радіація;

$R_p$ - відношення місячної прямої сонячної радіації на колекторну і на горизонтальну поверхні; $(\tau_\alpha)_p$;

$(\tau_\alpha)_r$, $(\tau_\alpha)_q$ - задана здатність поглинання прямої, розсіяної та відбитої сонячної радіації.

$I_r$ - розсіяна сонячна радіація;

$1 + \cos(\beta)$, $1 - \cos(\beta)$ - кутові коефіцієнти опромінення СК небосхилом і земною поверхнею;

$I_s$ - сумарна сонячна радіація, що падає на абсорбер;

$\rho_q$- величина, що характеризує частку відбитої від земної поверхні сонячної радіації.

Для стаціонарного стану СК рівняння теплового балансу має вигляд:

$$Q_{СК} = A_C \cdot \left[I_S - U_L \cdot \left(T_{pm} - T_a\right)\right], \tag{1.6}$$

Де $Q_{СК}$ - корисна теплова енергія на виході з СК;

$A_C$ - площа СК:

$U_L$ - коефіцієнт теплових втрат;

$T_{pm}$ , $T_a$ - середні температури абсорбера і навколишнього середовища.

Це рівняння показує, як енергія сонячного випромінювання, що подає, розподіляється між корисною енергією, тепловими й оптичними втратами.

Основним показником ефективності СК є ККД. ККД СК - відношення корисної теплової енергії до отриманої сонячної енергії без втрат тепла (в окремих випадках мають місце втрати світла).

Фізичний сенс ККД - відношення теплової енергії, яка відводиться від абсорбера за допомогою теплоносія, що циркулює через колектор, до сумарної променистої енергії, яка падає на нього.

$$\eta = \frac{\int Q_{СК} dt}{A_C \cdot \int I_S dt} \tag{1.7}$$

Корисне вироблення тепла геліоустановкою:

$$Q_{СК} = A_C \cdot F_R \cdot \left[I_S - U_L \cdot \left(T_{pm} - T_a\right)\right], \quad (1.8)$$

де $F_R$ - коефіцієнт відведення тепла від колектора, визначається за формулою:

$$F_R = \frac{m_K \cdot c_p}{A_C \cdot U_L} \cdot \left[1 - \exp\left(\frac{A_C \cdot U_L \cdot F'}{m_K \cdot c_p}\right)\right], \quad (1.9)$$

де $m_K$ - витрата теплоносія через СК;

$c_p$ - теплоємність теплоносія;

$F'$ - коефіцієнт ефективності СК:

$$F' = U_0/U_L,$$

де $U_0$ - термічний опір повітря.

Для визначення миттєвого значення ККД СК використовують вираз:

$$\eta = \frac{Q_{СК}}{A_C \cdot I_S} = \frac{F_R \cdot I_S \cdot (\tau_\alpha) - U_L \cdot (T_i - T_a)}{I_S}. \quad (1.10)$$

Дійсне значення ККД ПСК:

$$\eta = \frac{c_p \cdot \rho \cdot G \cdot (T_2 - T_1)}{q \cdot S} \quad (1.11)$$

де $c_p$ - теплоємність води, Дж/(кг·К);

$\rho$ - густина води, кг/м3 ;

G - витрата води, кг/с;

$T_2, T_1$ - температури ТН на вході та виході з колектора, К;

q - щільність потоку випромінювання, Вт/м$^2$ ;

S - габаритна площа поглинаючої панелі СК, м$^2$ .

Оскільки сонце протягом дня змінює своє положення, отже, змінюється кут падіння сонячної радіації (α) на ПСК, тому в знаменнику враховано α і коефіцієнт відбиття (котр), тоді формула перетворюється:

$$\eta = \frac{c_p \cdot \rho \cdot G \cdot (T_г - T_х)}{q \cdot (1 - k_{отр}) \cdot \sin(\alpha) \cdot S}, \quad (1.12)$$

Таким чином, розрахунок ККД здійснено за формулою (1.12). Це дає змогу розрахувати більш точне значення ККД ПСК.

## ВИСНОВОК ДО РОЗДІЛУ 1

Завданням цього розділу було проаналізувати літературні відомості, в яких ми виявили що сонячна енергія є перспективним відновлювальним джерелом енергії який використовується в системах опалення та гарячого водопостачання.

Дослідження підтвердило доцільність використання технологій сонячної енергії для приватних будівель.

Було обрано оптимальний варіант серед типів сонячних колекторів. Обрано було плоскі сонячні колектори, вони мають високу ефективність при оптимальних умовах експлуатації.

Розглянуто методики розрахунку характеристик сонячних водогрійних установок, завдяки яким можна обрати оптимальну конструкцію та розташування колектора.

# 2. ОБ'ЄКТ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

## 2.1 Об'єкт дослідження

Основною метою дослідження є проведення комплексної оцінки ефективності використання ГУ для теплопостачання будівель. Основним елементом ГУ, що нагріває ТН для ГВП, є СК. Тому об'єктом дослідження обрано ПСК, на підставі його простоти конструкції та експлуатації, довговічності.

Головна деталь СК - це поглинач сонячної енергії (абсорбер). У цьому випадку матеріал абсорбера - фольгований утеплювач зі спіненого поліетилену. У нього інтегровані мідні трубки, через які протікає ТН, що сприймає від абсорбера теплоту і тим самим нагріває воду. Захисне скло зі світлопрозорого матеріалу - стільникового полікарбонату. Теплоізоляцію здійснено за допомогою фанери ФК, що має високу міцність і вологостійкість.

## 2.2 Алгоритм розв'язання задачі теплопровідності

Для аналізу нагріву води в СК для ГВП у цій роботі використовується математичне моделювання, яке поділяється на такі етапи:

1. Фізична постановка задачі;
2. Створення або формулювання математичної моделі;
3. Вибір чисельного методу
4. Створення алгоритму;
5. Написання, налагодження та тестування програми;
6. Багатоваріантні розрахунки за налагодженою програмою;
7. Аналіз отриманих результатів;
8. Впровадження отриманих результатів.

Як говорилося раніше, об'єкт дослідження - ПСК, на який діє прямий

сонячний потік.

Математичне моделювання зведено до розв'язання системи двовимірних нестаціонарних рівнянь теплопровідності з граничними та початковими умовами. Для її розв'язання застосовано метод скінченних різниць.

Різницеві аналоги диференціальних рівнянь розв'язано на основі локально - одновимірного методу, який є абсолютно стійким і має властивість сумарної апроксимації. Одновимірні різницеві рівняння розв'язано методом прогону з використанням неявної чотириточкової різницевої схеми (рисунок 2.1), де зі старого часового шару беруть одну точку, на новому часовому шарі беруть три точки, для визначення поля температур розв'язано систему лінійних алгебраїчних рівнянь.

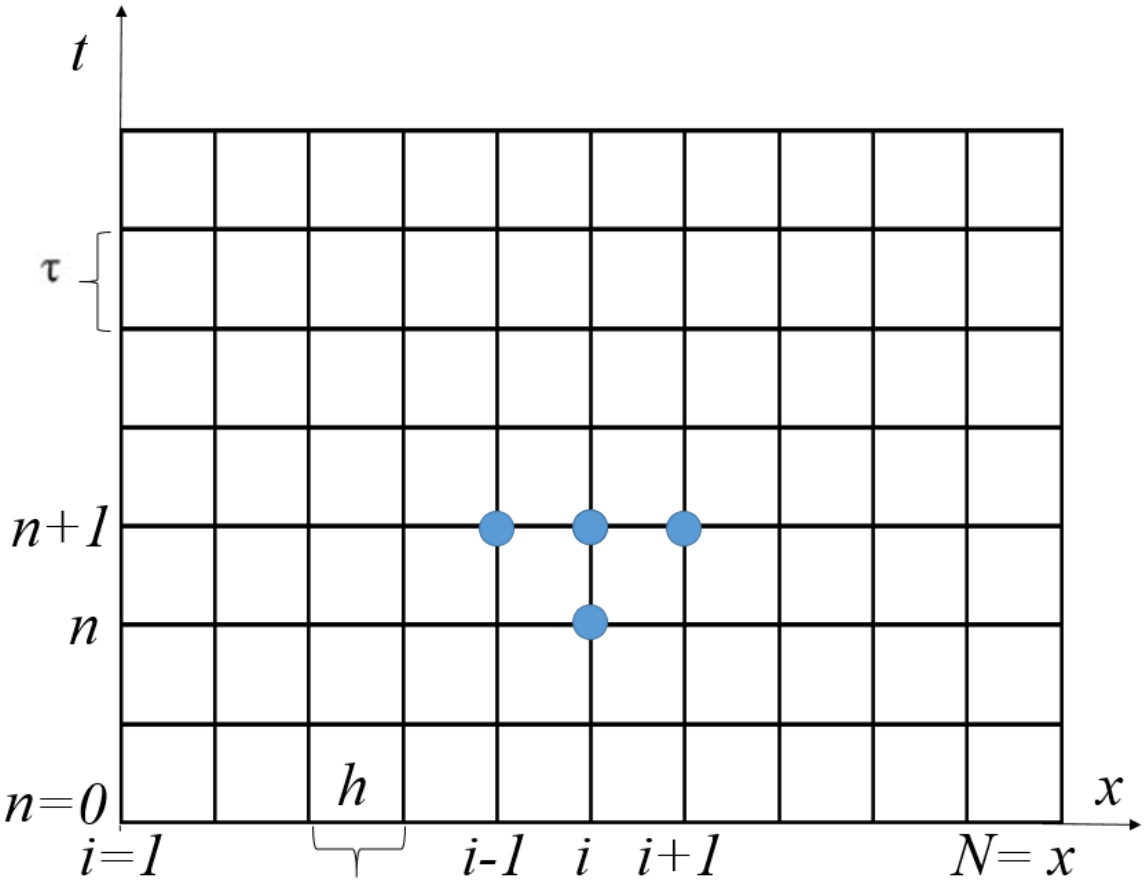



Рисунок 2.1 - Шаблон неявної чотириточкової різницевої схеми

Під час розв'язання задач теплопровідності методом скінченних різниць (МСР) тверде тіло подається у вигляді сукупності вузлів. Часткові похідні диференціального рівняння апроксимуються, тобто замінюються скінченними різницями, в результаті виходить система лінійних алгебраїчних рівнянь (СЛАР), з чисельного розв'язання якої визначається температура, як локальна характеристика в кожному вузлі сітки.

Рівняння теплопровідності для дослідження записується наступним чином:

$$\rho_1 \cdot c_1 \cdot \frac{\partial T}{\partial t} = \lambda_1 \cdot \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2}\right). \quad (2.1)$$

Для апроксимації диференціального рівняння (2.1) різницевим методом вводиться просторово-часова сітка з координатами:

$$x_i = (i - 1) \cdot h_x,$$

$$y_i = (j - 1) \cdot h_y,$$

$$t_n = n \cdot \tau,$$

де $h_x$, $h_y$ - кроки за координатами x та y; $\tau$ - крок за часом.

Визначення i, j i n перебувають у межах: $i = \overline{1, N_x}$; $j = \overline{1, N_y}$; $n = \overline{0, K}$.

Розрахункова область покривається сіткою (рис. 2.2).

Локально-одновимірний метод реалізується у два етапи. На першому проміжному етапі, у двовимірному рівнянні температура змінюється. На першому проміжному етапі, у двовимірному рівнянні температура змінюється тільки в напрямку осі *x*, тобто отримуємо одновимірне рівняння. Після розв'язання якого переходимо до другого етапу, проводимо дискретизацію рівняння у напрямку *y*, розв'язуючи отримане одновимірне

рівняння, визначаємо поле температури на цілому кроці в часі.

Отримаємо:

$$\rho \cdot c \cdot \frac{T_{i,j}^{n+\frac{1}{2}} - T_{i,j}^{n}}{\tau} \lambda \cdot \left( \frac{T_{i+1,j}^{n+\frac{1}{2}} - 2 \cdot T_{i,j}^{n+\frac{1}{2}} + T_{i-1,j}^{n+\frac{1}{2}}}{h_y^2} \right), \quad (2.2)$$

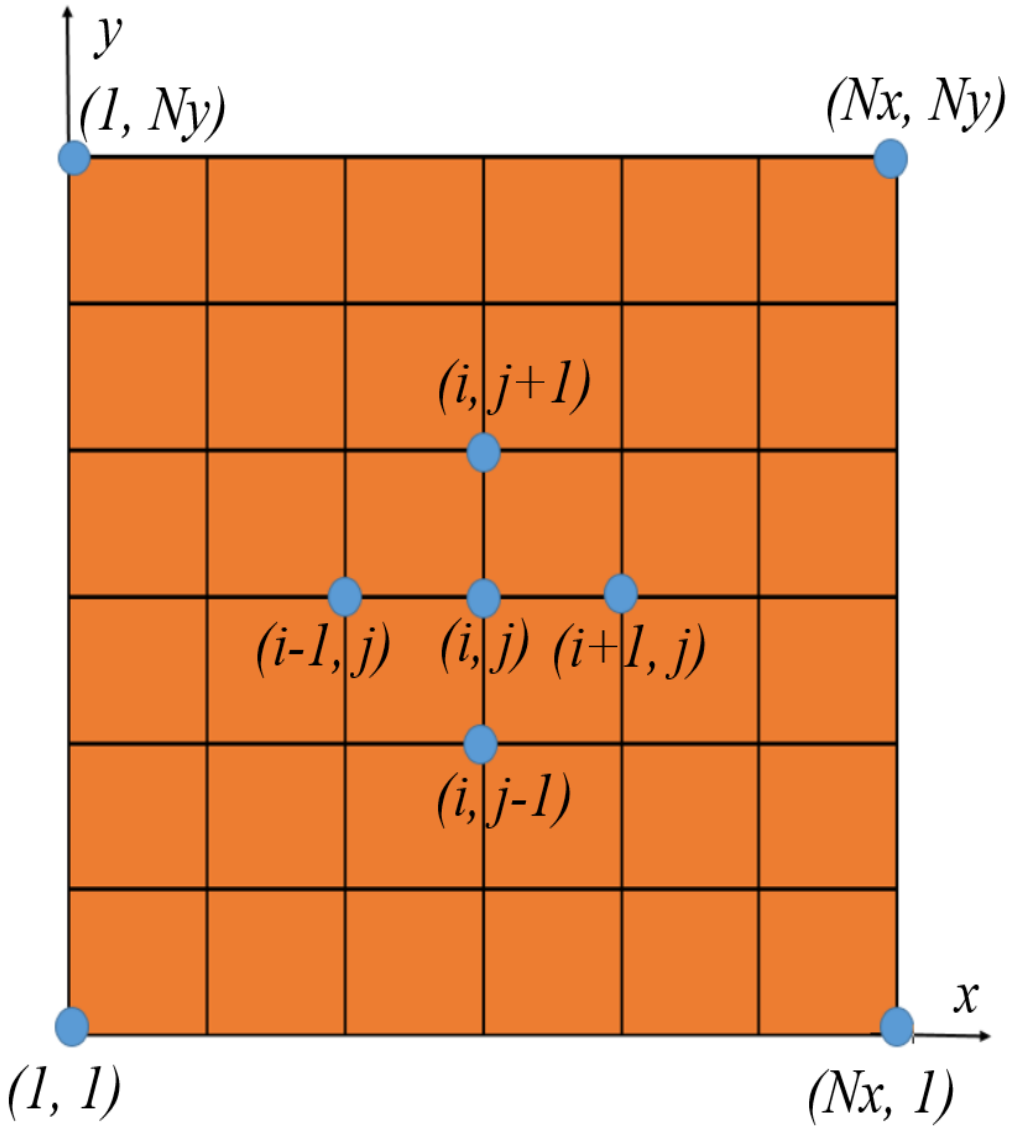



Рисунок 2.2 - Різницева сітка області рішення

$$\rho \cdot c \cdot \frac{T_{i,j}^{n+1} - T_{i,j}^{n+\frac{1}{2}}}{\tau} \lambda \cdot \left( \frac{T_{i,j+1}^{n+1} - 2 \cdot T_{i,j}^{n+1} + T_{i,j-1}^{n+1}}{h_y^2} \right). \quad (2.3)$$

Різницеві рівняння (2.2) і (2.2) перетворюється на стандартну тридіагональ і розв’язується послідовно методом прогонки. Спершу для всієї області розв'язується рівняння (2.2), після чого переходимо до розв'язування рівняння (2.3).

Розглянемо розв'язання рівняння (2.2) методом прогонки.

$$A_i \cdot T_{i+1,j}^{n+\frac{1}{2}} - B_i \cdot T_{i,j}^{n+\frac{1}{2}} + C_i \cdot T_{i-1,j}^{n+\frac{1}{2}} = F_i. \quad (2.4)$$

де $A_i = C_i = \frac{\lambda}{h_x^2}$, $B_i \frac{2 \cdot \lambda}{h_x^2} + \frac{\rho \cdot c}{\tau}$, $F_i = \frac{p \cdot c \cdot T_{i,j}^n}{\tau}$

Система (2.4) має тридіагональну структуру, розв'язуємо її на кожному кроці за часом.

Триточкове рівняння другого порядку перетворюється у двоточкове рівняння першого порядку:

$$T_{i,j}^{n+\frac{1}{2}} = \alpha_i \cdot T_{i,j}^{n+\frac{1}{2}} + \beta_i \quad (2.5)$$

Зменшивши індекс у рівнянні (2.5) на одиницю, (2.5) підставляємо це рівняння в (2.4):

$$A_i \cdot T_{i+1,j}^{n+\frac{1}{2}} - B_i \cdot T_{i,j}^{n+\frac{1}{2}} + C_i \cdot \alpha_i \cdot T_{i,j}^{n+\frac{1}{2}} + C_i \cdot \beta_{i-1} = F_i. \quad (2.6)$$

З рівняння отримаємо:

$$T_{i,j}^{n+\frac{1}{2}} = \frac{A_i}{B_i - C_i - \alpha_{i-1}} \cdot T_{i+1,j}^{n+\frac{1}{2}} + \frac{C_i \cdot \beta_{i-1} - F_i}{B_i - C_i \cdot \alpha_{i-1}} \qquad (2.7)$$

де $\alpha_i = \frac{A_i}{B_i - C_i \cdot \alpha_{i-1}}$, $\beta_i = \frac{C_i \cdot \beta_{i-1} - F_i}{B_i - C_i \cdot \alpha_{i-1}}$.

Для визначення $\alpha_i$ и $\beta_i$ необхідно знати перші прогоночні коефіцієнти, які знаходяться з лівої граничної умови.

Із правої граничної умови знаходимо значення температури $T_{N_x,j}^{n+\frac{1}{2}}$.

Далі за формулою (2.5) знаходимо поле температур.

Після цього приступаємо до розв'язання рівняння (2.3). Етапи розв'язання аналогічні розв'язанню рівняння (2.2).

Таким чином, розв'язання методом прогонки зводиться до знаходження прогоночних коефіцієнтів, визначення невідомих температур.

## ВИСНОВОК ДО РОЗДІЛУ 2

Мета даного розділу визначити методику проведення комплексної оцінки ефективності геліоустановок.

Для аналізу нагріву теплоносія в сонячному колекторі ГПВ було використано математичне моделювання.

Математичне моделювання базується на розв'язанні системи двовимірних нестаціонарних рівнянь теплопровідності з граничними та початковими умовами. Для цього використано метод скінченних різниць, зокрема локально-одновимірний метод. Це дає можливість знаходити температурні поля і розв'язувати рівняння теплопровідності методом прогонки, визначаючи невідомі температури.

# 3. МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

## 3.1 Фізична постановка задачі

Проаналізуємо процес теплопереносу в СК, що являє собою сукупність декількох шарів із різними теплофізичними характеристиками (рисунок 3.1).

Математичну модель розроблено з урахуванням таких припущень і припущень:

1. Розглядається одна панель ПСК.

2. ПСК складається з шести шарів, шостий з яких ТН, теплофізичні характеристики шарів представлені в

таблиці 3.1.

3. Теплофізичні властивості води і повітря не змінюються від температури навколишнього середовища.

4. Повна сонячна радіація використовуються без урахування втрат у навколишнє середовище.

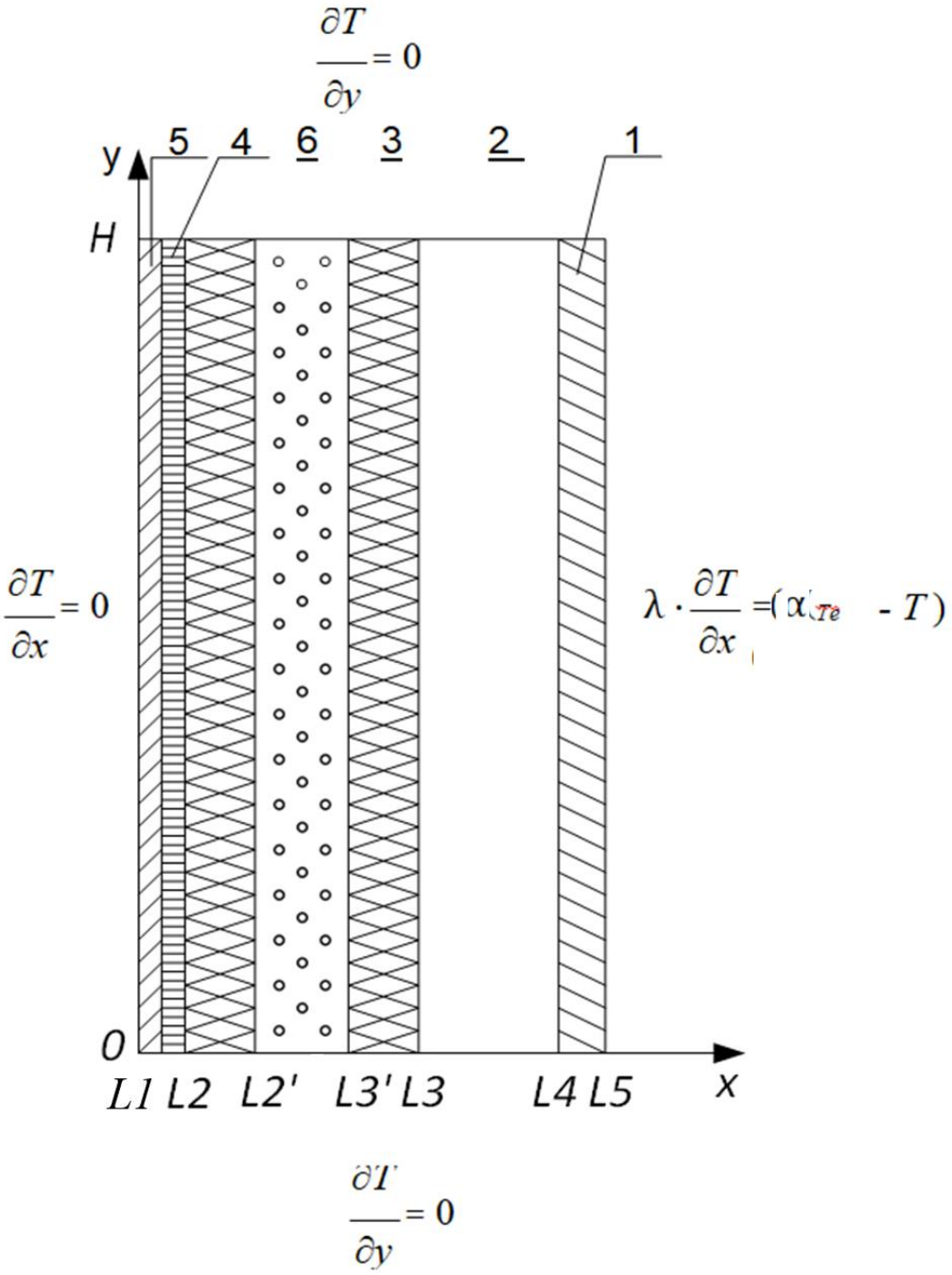
5. Розрахунок ведеться с урахуванням зміни положення сонця, враховується кут нахилу сонячної радіації

Таблиця 3.1 - Теплофізичні характеристики матеріалів

| | Щільність, кг/м$^3$ | Питома теплоємність, Дж/кг·К | Коефіцієнт теплопровідності, Вт/м·К |
|---|---|---|---|
| Верхня кришка | 170 | 1170 | 0,2 |
| Повітряна прошарок | 1,205 | 1005 | 0,026 |
| Мідні трубки | 8930 | 385 | 390 |
| Вода | 998,2 | 4183 | 0,6 |
| Абсорбер | 37,5 | 1950 | 0,038 |
| Нижня кришка | 550 | 1400 | 0,15 |

### 3.2 Геометрична постановка задачі

На рисунку 3.1 представлений ПСК с геометричними характеристиками: 2008x1093x100 мм.




1 - верхня кришка; 2 - повітряний прошарок; 3 - мідна трубка; 4 - абсорбер; 5 - нижня кришка; 6 - вода.

Рисунок 3.1 - Геометрична постановка задач

### 3.3 Математична постановка задачі

Математично процеси теплоперенесення в ПСК можуть бути описані нестаціонарними диференціальними рівняннями теплопровідності з відповідними крайовими умовами:

$$\begin{cases} \rho_1 \cdot c_1 \cdot \frac{\partial T}{\partial t} = \lambda_1 \cdot \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2}\right), & 0 < x < l_1, 0 < y < H \\ \rho_2 \cdot c_2 \cdot \frac{\partial T}{\partial t} = \lambda_2 \cdot \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2}\right), & l_1 < x < l_2, 0 < y < H \\ \rho_3 \cdot c_3 \cdot \frac{\partial T}{\partial t} = \lambda_3 \cdot \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2}\right), & l_2 < x < l_3,\ 0 < y < H \\ \rho_6 \cdot c_6 \cdot \frac{\partial T}{\partial t} = \lambda_6 \cdot \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2}\right), & l_{2'} < x < l_{3'},\ 0 < y < H \\ \rho_4 \cdot c_4 \cdot \frac{\partial T}{\partial t} = \lambda_4 \cdot \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2}\right), & l_3 < x < l_{4'}, 0 < y < H \\ \rho_5 \cdot c_5 \cdot \frac{\partial T}{\partial t} = \lambda_5 \cdot \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2}\right), & l_4 < x < l_{5'}, 0 < y < H \end{cases} \quad (3.1)$$

де $c_i$ - питома масова теплоємність, Дж/(кг·К);

$p_i$ - густина, кг/м$^3$ ;

$\lambda_i$ - коефіцієнт теплопровідності, Вт/(мК);

$T_i$ - температура, °С.

Під індексом: 1 - кришка (теплоізолятор) ПСК; 2 - абсорбер; 3 - мідні трубки; 4 - повітряний прошарок; 5 - кришка зі світлопрозорого матеріалу (скло); 6 - вода.

Початкові та граничні умови:

$t = 0: T = T_0, 0 \le x \le L; 0 \le y \le H;$

$x = 0: \frac{\partial T}{\partial x} = 0, t > 0;$

$x = L: \lambda \cdot \frac{\partial T}{\partial x} = \alpha \cdot (T_e - T), t > 0, \alpha > 0;$

$y = 0: \frac{\partial T}{\partial y} = 0, t > 0;$

$y = 0, l_{2'} < x < l_{3'}: T + T_1,$

$y = L: \frac{\partial T}{\partial y} = 0, t > 0.$

У початковий момент часу температура дорівнює $T_0$. На кордонах x=0, y=0 і y = L ПСК теплоізольований. На межі x = L задано гранична умову III роду. На межі y = 0, де протікає ТН гранична умова I роду. У точках контакту двох середовищ - гранична умова IV роду.

$$\begin{cases} T_1(t,x,y) = T_2(t,x,y), \\ -\lambda_1 \cdot \frac{\partial T_2}{\partial x}\Big|_{x=l_1} = -\lambda_2 \cdot \frac{\partial T_2}{\partial x}\Big|_{x=l_2} \end{cases};$$

$$\begin{cases} T_2(t,x,y) = T_3(t,x,y), \\ -\lambda_2 \cdot \frac{\partial T_2}{\partial x}\Big|_{x=l_2} = -\lambda_3 \cdot \frac{\partial T_3}{\partial x}\Big|_{x=l_2} \end{cases};$$

$$\begin{cases} T_3(t,x,y) = T_6(t,x,y), \\ -\lambda_3 \cdot \frac{\partial T_3}{\partial x}\Big|_{x=l_{2'}} = -\lambda_6 \cdot \frac{\partial T_6}{\partial x}\Big|_{x=l_{2'}} \end{cases};$$

$$\begin{cases} T_6(t,x,y) = T_3(t,x,y), \\ -\lambda_6 \cdot \frac{\partial T_6}{\partial x}\Big|_{x=l_{3'}} = -\lambda_3 \cdot \frac{\partial T_3}{\partial x}\Big|_{x=l_{3'}} \end{cases};$$

$$\begin{cases} T_3(t,x,y) = T_4(t,x,y), \\ -\lambda_3 \cdot \frac{\partial T_3}{\partial x}\Big|_{x=l_3} = -\lambda_4 \cdot \frac{\partial T_4}{\partial x}\Big|_{x=l_4} \end{cases};$$

$$\begin{cases} T_4(t,x,y) = T_5(t,x,y), \\ -\lambda_4 \cdot \frac{\partial T_4}{\partial x}\Big|_{x=l_4} = -\lambda_5 \cdot \frac{\partial T_5}{\partial x}\Big|_{x=l_5} \end{cases};$$

Математична модель здійснювалася в кілька етапів.

1. Розрахунок двовимірної задачі теплопровідності для однорідного тіла - ПСК представлений як пластина.

На цьому етапі розглядають пластину з геометричними розмірами ПСК, з аналогічними початковими та граничними умовами, методику розв'язання задачі подано в п. 2.2.

2. Розрахунок двовимірної задачі теплопровідності для сукупності пластин з різними теплофізичними характеристиками - ПСК, що складається з декількох шарів.

На цьому етапі розв'язання задачі проводиться також чисельно на основі неявної різницевої схеми (як у першому етапі), з урахуванням контакту середовищ із граничною умовою четвертого роду.

Спочатку проводиться апроксимація диференціального рівняння скінченними різницями. Отримавши СЛАУ виду (2.2) і (2.3), розв'язуємо методом прогонки. Під час знаходження прогоночних коефіцієнтів в області $0 < x, l_1$ використовуються характеристики середовища 5, при $l_1 < x < l_2$ - середовища 4, при $l_2 < x < l_2$ та $l_3' < x, l_3$ – середовища 3, при $l_2' < x < l_3'$ - середовища 6, при $l_3 < x < l_4$ - середовища 4, при $l_4 < x < l_5$ - середа 5.

У точці контакту двох середовищ використовується гранична умова четвертого роду. Шаблон різницевої сітки на прикладі повітряного прошарку і теплоізоляційної кришки представлено на рисунку 3.2.

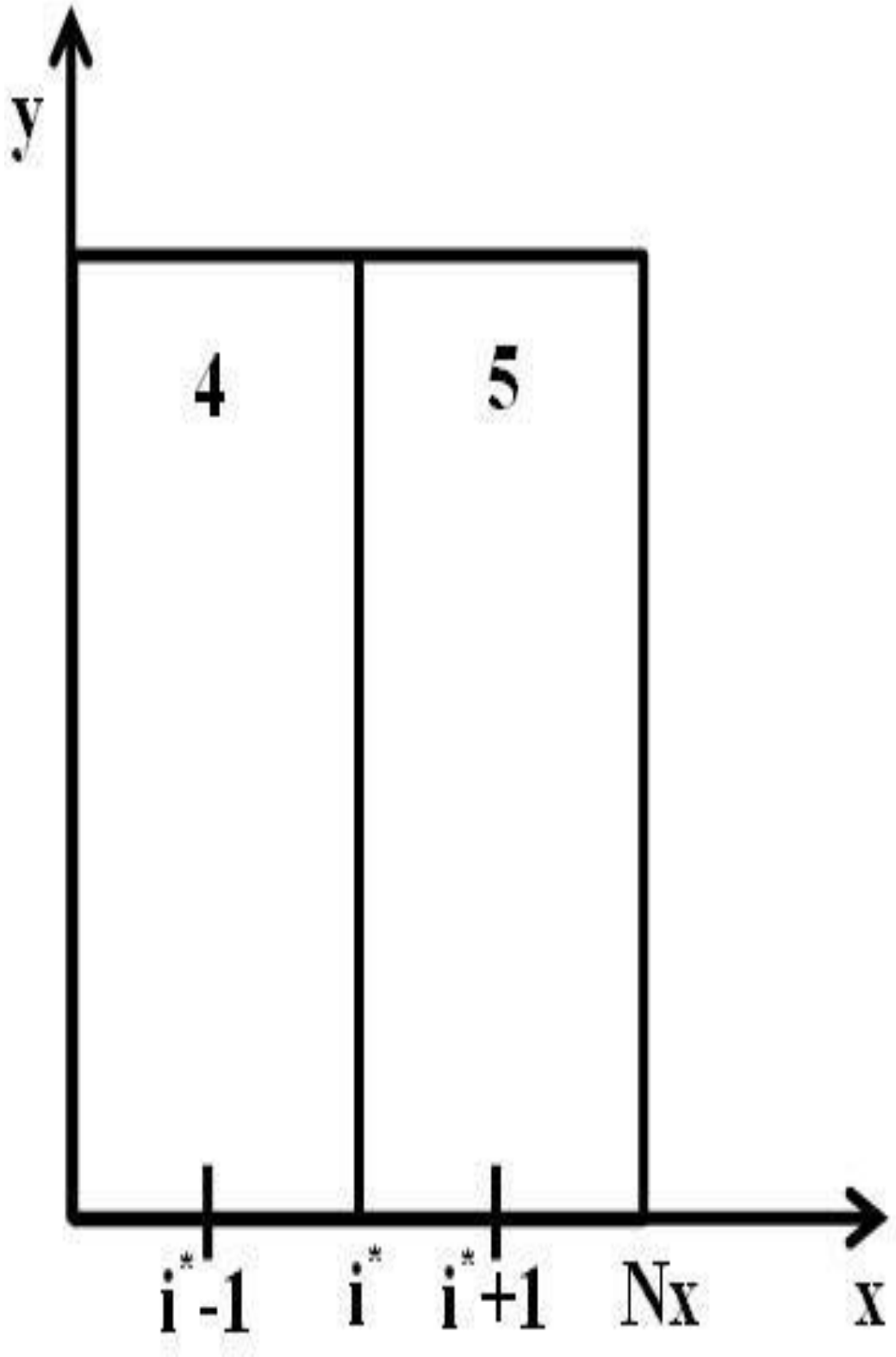



Рисунок 3.2 - Шаблон різницевої сітки

Виведемо прогоночні коефіцієнти в точці контакту середовищ 4 і 5.

Гранична умова:

$$\begin{cases} T_{4,i^*} = T_{5,i^*}, \\ -\lambda_4 \cdot \left.\frac{\delta T_4}{\delta x}\right|_{x=x^*} = -\lambda_5 \cdot \left.\frac{\delta T_5}{\delta x}\right|_{x=x^*} \end{cases}.$$

Розглянемо апроксимацію першого порядку щодо кроку по просторовій координаті. Беручи до уваги, що при $i < i^*$ $T = T_4$ при $i > i^*$ $T = T_5$, виключаючи індекси, що характеризують середовище, отримаємо такі співвідношення:

$$\begin{cases} T_{4,i^*} = T_{5,i^*}, \\ -\lambda_4 \cdot \frac{T_{4,i^*} - T_{i^*-1}}{h_x} = -\lambda_5 \cdot \frac{T_{i^*-1} - T_{5,i^*}}{h_x}. \end{cases}$$

Введемо значення $T_{4,i^*} = T_{5,i^*} = T_i$.

Використовуючи прогоночне співвідношення $T_{i-1,j} = \alpha_{i-1} \cdot T_{i,j} + +\beta_{i-1}$ з другої рівності умов отримаємо:

$$T_{i,j} - \alpha_{i-1} \cdot T_{i,j} + \beta_{i-1} = \frac{\lambda_5}{\lambda_4} \cdot T_{i+1,j} - \frac{\lambda_5}{\lambda_4} \cdot T_{i,j}.$$

$$T_{i,j} - \alpha_{i-1} \cdot T_{i,j} + \beta_{i-1} = \frac{\lambda_5}{\lambda_5 + \lambda_4 \cdot (1 - \alpha_{N_4-1})} \cdot T_{i+1,j} - \frac{\lambda_4}{\lambda_5 + \lambda_4 \cdot (1 - \alpha_{N_4-1})}$$

Таким чином,

$$\begin{cases} \alpha = \dfrac{\lambda_5}{\lambda_5 + \lambda_4 \cdot \left(1 - \alpha_{N_4 - 1}\right)}; \\ \beta = \dfrac{\lambda_4}{\lambda_5 + \lambda_4 \cdot \left(1 - \alpha_{N_4 - 1}\right)}. \end{cases}$$

В області розрахунку ТН задаємося граничною умовою 1 роду, яку під час дослідження варіюємо.

3. Розрахунок попереднього етапу з урахуванням щільності теплового потоку сонячної енергії.

Сонячний потік падає на ПСК, поглинається абсорбером, нагріваючи мідні труби. Приймаємо, що сонячний потік повністю поглинається СК, не відбиваючись від нього і не гублячись у навколишнє середовище. Отже на межі середовищ мідної трубки і повітряного прошарку зміняться перші прогоночні коефіцієнти.

З четвертої граничної умови:

$$-\lambda_3 \cdot \frac{\partial T_3}{\partial x}\Big|_{x=l_3} = -\lambda_4 \cdot \frac{\partial T_4}{\partial x}\Big|_{x=l_4} + q_c$$

$$-\lambda_4 \cdot \frac{T_i - T_{i-1}}{h_x} = -\lambda_5 \cdot \frac{T_{i+1} - T_i}{h_x} + q_c$$

$$T_{i,j} = \frac{k_\lambda}{\left(1 - \alpha_{N_4 - 1}\right) + k_\lambda} \cdot T_{i+1,j} - \frac{\beta_{i-1} + \dfrac{q \cdot h_x}{\lambda_3}}{\left(1 - \alpha_{N_4 - 1}\right) + k_\lambda},$$

де $k_\lambda = \frac{\lambda_4}{\lambda_3}$

Таким чином,

$$\begin{cases} \alpha_i = \dfrac{\lambda_4}{\lambda_3 + \lambda_4 \cdot \left(1 - \alpha_{N_3 - 1}\right)}; \\ \beta_i = \dfrac{\beta_{i-1} + \beta_{i-1} + \dfrac{q \cdot h_x}{\lambda_6}}{\left(1 - \alpha_{N_3 - 1}\right) + \dfrac{\lambda_4}{\lambda_3}}. \end{cases}$$

4. Розрахунок попереднього етапу з урахуванням кута падіння сонячних променів протягом усього дня.

Протягом дня сонце на небі змінює своє положення зі сходу (вранці) на захід (увечері), отже, змінюється кут падіння сонячних променів, у програмі це враховано. У таблиці 3.2 подано кути сонця залежно від години доби.

Таблиця 3.2 - Зміна кута падіння сонячної радіації

| Час | Кут |
|---|---|
| 1 | 2 |
| 00:00 | -12,94 |
| 01:00 | -14,56 |
| 02:00 | -14,08 |
| 03:00 | -11,56 |
| 04:00 | -7,2 |
| 05:00 | -1,34 |
| 06:00 | 5,65 |
| 07:00 | 13,42 |
| 08:00 | 21,6 |
| 09:00 | 29,84 |
| 10:00 | 37,69 |
| 11:00 | 44,59 |
| 12:00 | 49,74 |
| 13:00 | 52,24 |
| 14:00 | 51,49 |
| 15:00 | 47,69 |
| 16:00 | 41,64 |
| 17:00 | 34,23 |
| 18:00 | 26,15 |

Продовження таблиці 3.2

| | |
|---|---|
| 19:00 | 17,89 |
| 20:00 | 9,85 |
| 21:00 | 2,39 |
| 22:00 | -4,14 |
| 23:00 | -9,37 |
| 24:00 | -12,71 |

5. Розрахунок теплових потоків сонця і води, ККД ПСК.

Розрахунок ККД сонячного колектора здійснювався за формулою (1.12).

$$\eta = \frac{Q_{water}}{Q_{sun}},$$

де $Q_{water}$ - тепловий потік води, визначається за формулою:

$$Q_{water} = G \cdot c_p \cdot (T_г - T_х) \cdot \tau\,,$$

$Q_{sun}$ - тепловий потік сонячного випромінювання, знаходиться як:

$$Q_{sun} = q \cdot (1 - k_{відб}) \cdot Sin(\alpha) \cdot S \cdot \tau.$$

## ВИСНОВОК ДО РОЗДІЛУ 3

Задачею було описати фізичні, геометричні та математичні аспекти задачі моделювання теплопереносу в плоскому сонячному колекторі.

Фізична постановка розглядає процес теплопередачі в декількох шарах ПСК з різними теплофізичними характеристиками. У модель включено такі допущення, як сталість теплофізичних властивостей матеріалів і повне поглинання сонячної радіації без втрат.

Геометрична постановка задачі відображає розміри панелі ПСК, а математичне моделювання ґрунтується на системі нестаціонарних рівнянь теплопровідності з граничними умовами четвертого роду для шарів із різними теплофізичними характеристиками. Для розв'язання цієї системи використано метод скінченних різниць, зокрема неявну різницеву схему і метод прогонки для обчислення температурних полів у різних шарах ПСК.

Також, враховано вплив сонячного потоку, який поглинається колектором, а також зміну кута падіння сонячного проміння протягом дня, що дає змогу точніше оцінити ефективність нагрівання. У завершальній частині розрахунків моделі також розглянуто теплові потоки та визначено ККД ПСК.

# 4 ФІНАНСОВИЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЕФЕКТИВНІСТЬ ТА РЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ

За сучасної економічної ситуації, зростання цін на енергоносії, актуальним є питання застосування поновлюваних джерел енергії, зокрема, використання невичерпної енергії Сонця.

Сонячну енергію можна застосовувати практично для будь-яких господарських потреб, де потрібне тепло:

- для автономного гарячого водопостачання;
- як основне або додаткове опалення житлових приміщень;
- для підігріву відкритих і закритих басейнів;
- для обігріву теплиць, виробничих приміщень.

У зв'язку з тим, що в спостерігається нестача сонячного освітлення, отже, сонячні колектори не можуть бути використані в повному обсязі, застосовуються лише для додаткового нагріву води в літній період.

Сучасні сонячні колектори дають змогу нагрівати теплоносій до відносно високих температур, близько 180 °С. Середній ККД установок коливається від 30 до 60 %. Не дивлячись на досягнуті наразі техніко-економічні показники установок, в Україні сонячні колектори поки що не набули широкого впровадження, хоча у світі застосування їх досить розвинене.

На сьогоднішній день сонячні водонагрівальні системи використовують у приватних будинках, багатоквартирних будівлях, школах, автомийках, лікарнях, ресторанах, у сільському господарстві та промисловості.

Плоскі сонячні колектори - найзручніший, найпростіший і найекономніший варіант встановлення геліосистем завдяки відносно невисоким цінам і високій ефективності, простоті монтажу та встановлення.

Метою цього розділу є порівняння економічної ефективності роботи плоского сонячного колектора та електричного нагрівача.

Для реалізації цієї мети необхідно:

- розрахувати споживання електроенергії на нагрівання води встановленого об'єму з однаковою початковою та кінцевою температурою.

- розрахувати можливу економію коштів, витрачених на нагрівання води за певний період.

Визначити термін окупності установки для нагріву води за допомогою сонячного колектора.

### 4.1 Економічна ефективність

Витрати енергії на підігрів води не залежать від виду енергії, що використовується для опалення. На підставі проведених дослідів знайдемо кількість теплової енергії, яку поглинає теплоносій першого контуру за рахунок сонячної радіації.

Кількість теплової енергії, передана теплоносієм першого контуру:

$$Q_1 = G \cdot c_p \cdot (t_1 - t_2), \quad (4.1)$$

де $t_1$ - температура теплоносія на вході в акумулюючий бак, дорівнює 62,5 ℃ ;

$t_2$–температура теплоносія на виході з акумулюючого бака,дорівнює 31,2 ℃ ;

$t_{ср} = \frac{t_1+t_2}{2}$ - середня температура теплоносія,

$$t_{ср} = \frac{62,5 + 31,2}{2} = 46,85 \text{ ℃},$$

$c_p$ - теплоємність теплоносія (антифризу) при середній температурі

$t_{ср} = 46,85$ ℃, дорівнює 3361,02 $\frac{Дж}{кг \cdot ℃}$,

G- масова витрата теплоносія, визначається за формулою:

$$G = \rho \cdot V,$$

де V - об'ємна витрата теплоносія, дорівнює 0,8 л/хв, або $1{,}33 \cdot 10^{-5}$ $м^3/с$;
ρ- густина теплоносія (антифризу) при середній температурі
$t_{ср} = 46{,}85$ ℃, дорівнює 1065,41$кг/м^3$;

$$G = 1065{,}41 \cdot 1{,}33 \cdot 10^{-5} = 0{,}0142 \text{ кг/с}. \quad (4.2)$$

Тоді кількість теплової енергії дорівнює:

$$Q_1 = 0{,}0142 \cdot 3361{,}02 \cdot (62{,}5 - 31{,}2) = 1493{,}84 \text{ Вт} = 1{,}494 \text{ кВт}.$$

Кількість теплової енергії, сприйнята теплоносієм другого контуру (водою,що нагрівається):

$$Q_2 = \eta \cdot Q_1, \quad (4.3)$$

де $\eta = 0{,}99$ - теплові втрати під час передачі тепла.

$$Q_2 = 0{,}99 \cdot 1{,}494 = 1{,}479 \text{ кВт}.$$

Попередньо припустивши, що така потужність сонячного колектора може розвиватися протягом шести годин на добу впродовж шести місяців (з квітня по вересень), при цьому середня температура гарячої води становитиме 50 ℃, можна розрахувати вироблення тепла сонячним колектором за рік

$$Q_{год} = Q_2 \cdot \tau \cdot \varphi. \quad (4.4)$$

де $\varphi = 0{,}75$ - поправка на хмарність.

$$Q_{год} = 1{,}479 \cdot 6 \cdot 183 \cdot 0{,}75 = 1217{,}96 \text{ кВт·ч.}$$

При цьому витрата електричної енергії на привід насоса за цей період становитиме:

$$Q_Н = P_Н \cdot \tau, \quad (4.5)$$

де $P_H = 0{,}1$ кВт - потужність насоса.

$$Q_Н = 0{,}1 \cdot 6 \cdot 183 = 109{,}8 \text{ кВт·ч.}$$

Тоді вартість витраченої енергії на нагрівання води сонячним колекторомскладе:

$$З_{СК} = Q_H \cdot T, \quad (4.6)$$

де $Т = 4{,}32 \frac{грн}{кВт·ч}$ - тариф на електроенергію.

$$З_{СК} = 109{,}8 \cdot 4{,}32 = 474{,}3 \text{ грн.}$$

Якщо нагрівання води здійснювати електричним нагрівачем, то для цього потрібне тепло:

$$Q_{ЕН} = \frac{Q_{год}}{\eta_{ЕН}}, \quad (4.7)$$

де $\eta_{ЕН} = 0{,}95$ – КПД електричного нагрівача.

$$Q_{\text{ЕН}} = \frac{1217,96}{0,95} = 1282,06 \text{ кВт·ч.}$$

Отже, вартість витраченої енергії на нагрівання води електричним нагрівачем складе:

$$З_{\text{ЕН}} = Q_{\text{ЕН}} \cdot \text{Т}, \tag{4.8}$$

$$З_{\text{ЕН}} = 1282,06 \cdot 4,32 = 5538,49 \text{ грн.}$$

Приймемо обсяг нагрітої води за рік рівним:

$$V_{\text{рік}} = 50 \text{ м}^3.$$

Ціна одного кубометра води при нагріванні сонячним колектором:

$$Ц_{\text{СК}} = \frac{З_{\text{СК}}}{V_{\text{год}}}, \tag{4.9}$$

$$Ц_{\text{СК}} = \frac{474,3}{50} = 9,48 \text{ грн.}$$

Ціна одного кубометра води при нагріванні електричнимнагрівачем:

$$Ц_{\text{ЕН}} = \frac{З_{\text{ЕН}}}{V_{\text{рік}}}, \tag{4.10}$$

$$Ц_{\text{ЕН}} = \frac{5538,49}{50} = 110,76 \text{ грн.}$$

Середня вартість 1 куб. м гарячої води у відкритій системі централізованого водопостачання становить 87,76 грн, а у закритій - 120 грн. Використання сонячних колекторів для нагрівання води дозволяє суттєво знизити витрати на гаряче водопостачання порівняно з централізованими системами.

Економія при використанні сонячного колектора порівняно з електричним нагрівачем за рік становитиме:

$$Е = З_{ЕН} - З_{СК}, \quad (4.11)$$

$$Е = 5538{,}49 - 474{,}3 = 5064{,}19 \text{ грн.}$$

### 4.2 Термін окупності сонячного колектора

Щоб визначити термін окупності установки для нагріву води за допомогою сонячного колектора, необхідно розрахувати витрати і капітальні вкладення. У таблиці 1 наведено основну інформацію щодо обладнання.

Таблиця 4.1 - Вартість, термін служби та норма амортизації обладнання

| Обладнання | Вартість, грн | Термін служби, років | Норма амортизації |
|---|---|---|---|
| Плоский сонячний колектор SUNSYSTEM PK SELECT CL 2.15 | 16000 | 15 | 0,06 |
| Бак-водонагрівач Termeks STP | 6000 | 10 | 0,1 |
| Циркуляційна насосна станція 25/60 | 800 | 10 | 0,1 |
| Інше | 2500 | 15 | 0,06 |

Капітальні вкладення:

$$К = \sum Ц_{облад}, \quad (4.12)$$

$$К = 16000 + 6000 + 800 + 2500 = 25300 \text{ грн.}$$

Витрати:

$$В = \sum Ц_{облад} \cdot К_{на} + В_i \quad (4.13)$$

де $В_i$ - інші витрати (вартість використаної холодної води за рік), становить 3367,68 грн.

$$В = 16000 \cdot 0{,}07 + 6000 \cdot 0{,}1 + 800 \cdot 0{,}1 + 2500 \cdot 0{,}07 + 3367{,}68 =$$
$$= 5342{,}68 \text{ грн.}$$

Термін окупності:

$$Т_о = \frac{К}{И},$$

$$Т_о = \frac{25300}{5342{,}68} = 4{,}7 \text{ років.}$$

## 4.3 Розрахунок надійності та вартості електроенергії автономної геліоустановки

За наявності високовольтної мережі (в/в мережа) питома вартість електроенергії 2,5 грн/ кВт·г. Для електроживлення віддалених областей, існує три основні варіанти: електроживлення від ГУ, від дизельного генератора (ДВЗ) або від вітротурбіни (ВЕС).

Для порівняння ми використовуємо портативну вітрову турбіну з потужністю 50кВт. За середньої швидкості вітру 19км/г, вона виробляє 12 кВт електроенергії. З урахуванням вартості машини, поряд із витратами на

експлуатацію, за 20-річного циклу при середній швидкості вітру 19км/г вартість електроенергії буде 5,04грн за кВт·г. За сильної швидкості вітру вартість електроенергії нижча на 1,26 грн. за кВтг, тобто 3,78 грн за кВтг.

Якщо використовувати дизель-генератор із потужністю 50 кВт для виробництва 12 кВт, то буде низька ефективність. Доцільно використовувати генератор на 15 кВт. Для отримання 12кВт/год дизельний генератор витрачає паливо щонайменше 4Л на годину. Протягом 20 років він витратить 663204Л. Дизельне паливо має високу енергоємність і крім того, воно є найдорожчим із невідновлюваних джерел і виробляє шкідливі викиди. Дизельна електростанція матиме початкову вартість електрогенератора 100000грн, а паливо, що витрачається протягом 20 років, коштуватиме 42000000грн без урахування витрат на транспортування і технічне обслуговування. Залежно від коефіцієнта навантаження і вартості палива дизель-генератор виробляє енергію з вартістю в діапазоні від 25грн до 50грн за кВт·г при обмеженні максимальної потужності 15 кВт. Розглянемо вартість електроенергії ГУ.

За максимальної потужності навантаження $\mathrm{P_{макс,Н}} = 2\text{кВт}$ споживана енергія за день буде $\mathrm{E_{за_день}} = 10\text{кВт} \cdot \text{г}$. За питомої вартості інвертора $\xi_\text{і} = 9534\text{грн/кВт}$, поточна вартість інвертора буде $\mathrm{B_і} = \frac{\mathrm{P_{макс,Н}}}{\xi_\text{і}} = \frac{2}{9534} = 4767\text{грн}$.

Питома вартість сонячного колектора $\xi_{\text{ск}} = 16000\ \text{грн/кВт}$. Для споживаної енергії за день $\mathrm{E_{за_день}} = 10\text{кВт} \cdot \text{г}$ за часу освітлення $\mathrm{T_с} = 12\text{ч}$ розрахуємо вартість сонячного колектора $\mathrm{B_{сп}} = \frac{\mathrm{E_{за_день}}}{\mathrm{T_с}} \cdot \xi_{\text{ск}} = \frac{10}{12} \cdot 16000 = 13333\text{грн}$.

При питомій вартості гелевого акумулятора $\xi_{\text{га}} = 8000\ \text{грн/кВт} \cdot \text{г}$ для забезпечення енергії за день 11 кВт·г, розрахуємо вартість ГА:

$$\mathrm{B_{сп}} = 2 \cdot \mathrm{E_{за_{день}}} \cdot \xi_{\text{га}} = 2 \cdot 11 \cdot 8000 = 176000\text{грн}.$$

Початкова вартість геліоустановок дорівнюватиме:

$$К = В_{і} + В_{га} + В_{ск} = 4767 + 176000 + 13333 = 194100грн.$$

За 20 років треба замінити 4 комплекти ГА, вартість яких дорівнює:

$$В_{га_20років} = 4 \cdot В_{га} = 4 \cdot 8000 = 32000грн$$

Сумарна вартість геліоустановок з урахуванням заміни ГА 4 рази дорівнюватиме:

$$В_{СУМА_20років} = В_{і} + В_{ск} + В_{га_20років} = 4767 + 13333 + 32000 = 50100грн.$$

Споживана енергія за 20 років:

$$Е_{20років} = 20 \cdot 365 \cdot 11 = 80300кВт \cdot г$$

Питома вартість енергії за час використання геліоустановок 20 років дорівнює:

$$В_{Е_{гу}} = \frac{В_{СУМА_20років}}{Е_{20років}} = \frac{50100}{80300} = 0{,}62\ грн/кВт \cdot г$$

На рис. наведено питому вартість електроенергії для ГУ, ДВЗ, ВЕС, в/в мережу.

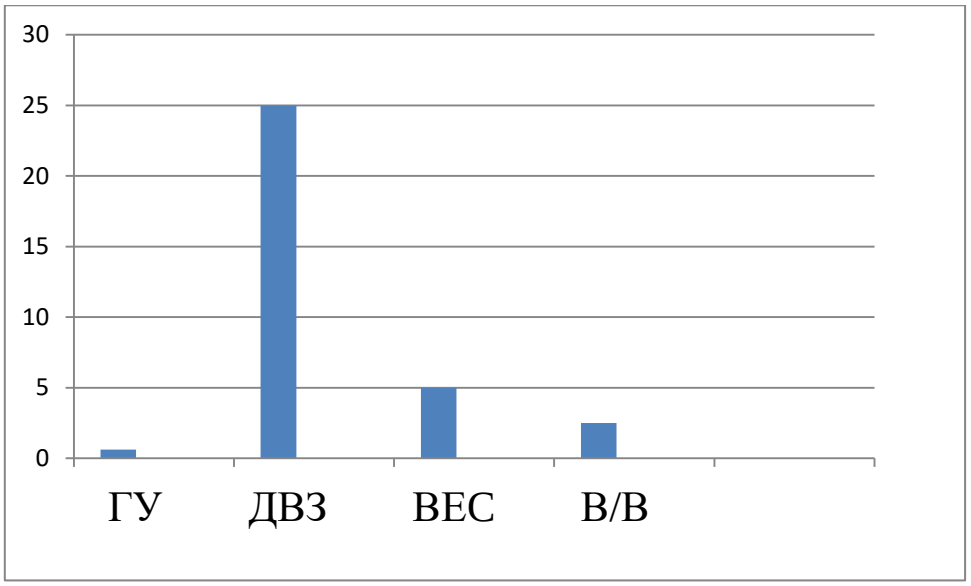



Рис. 4.1 Порівняння вартості ГУ з іншими джерелами енергії

З рис 4.1 випливає, що вартість питомої енергії ГУ вища, ніж у ВЕС, і нижча, ніж у ДВЗ, і її можна знизити заміною гелевих акумуляторів на дешевші свинцеві акумулятори.

### 4.3.1 Імовірність безвідмовної роботи акумуляторної батареї

Для акумуляторної батареї, що містить m послідовно з'єднаних акумуляторів, імовірність безвідмовної роботи протягом певного часу автономної роботи t визначається такою формулою:

$$P(t) = e^{-m\cdot\lambda\cdot t} = \frac{1}{e^{m\cdot\lambda\cdot t}}, \tag{4.14}$$

Де P(t) - імовірність безвідмовної роботи, m - кількість послідовно з'єднаних акумуляторів, λ - інтенсивність (середня частота) відмов,

t - час роботи - 3 роки. Для $\lambda = 10^{-6}\ \frac{1}{\text{годин}}$ - типове значення частоти відмов, для t = 20 років, для t = кількість років – кількість днів – годин на день

$= 3 \cdot 365 \cdot 24 = 26380$год., для $U_H$ = 220В кількість послідовно з'єднаних акумуляторів m = 5 розрахуємо ймовірність безвідмовної роботи.

$$P(t) = \frac{1}{e^{5 \cdot 10^{-6} \cdot 26380}} = 0{,}9$$

Ця висока ймовірність безвідмовної роботи означає, що не потрібно розробляти спеціальні методи підвищення надійності акумуляторної батареї: цілократне або дрібнократне резервування, заміна раніше, ніж за 3 роки, індивідуальний контроль акумулятора тощо, оскільки з 5 штук за 3 роки не буде лагодити акумуляторні батареї.

### 4.3.2 Рекомендації під час застосування пристроїв захисного відключення

У наведені рекомендації під час проєктування, монтажу, налагодження та експлуатації електроустановок житлових, виробничих і громадських приміщень із застосуванням пристроїв захисного вимкнення (ПЗВ).

ПЗВ застосовується для комплектації ввідно-розподільних пристроїв (ВРП), розподільних щитів (РЩ), групових щитків (квартирних і поверхових), які встановлюють у громадських будівлях - дитячих дошкільних установах, школах, професійно-технічних, середніх, спеціальних і вищих навчальних закладах, готелях, санаторіях, мотелях, бібліотеках, дахах, крилах, мотелях, мотелях, бібліотеках, мотелях, мотелях, мотелях, мотелях, мотелях, бібліотеках, дахах, мотелях, мотелях, бібліотеках, критих спортивних і фізкультурно-оздоровчих закладах, басейнах, саунах, театрах, клубах, кінотеатрах, магазинах, підприємствах громадського харчування, підприємствах побутового обслуговування, торгових павільйонах, кіосках тощо, встановлюються в громадських будівлях, житлових будинках - індивідуальних і багатоквартирних, дачах, садових будиночках, гуртожитках,

побутових приміщеннях тощо, в адміністративних будівлях, виробничих приміщеннях - цехах, майстернях, АЗС, автомийках, ангарах, гаражах, складських приміщеннях тощо, а також для захисту окремих споживачів електроенергії.

## ВИСНОВОК ДО РОЗДІЛУ 4

Проведені розрахунки показують значний потенціал економії при використанні сонячного колектора для нагріву води. За моїми підрахунками, можна зекономити 5064,19 гривень на рік порівняно з централізованим водопостачанням. Це дозволить не лише зменшити витрати на комунальні послуги, але й зробити свій внесок у збереження довкілля.

Незважаючи на значні початкові інвестиції, сонячний колектор окупить себе всього за 4,7 року, що робить його вигідним довгостроковим рішенням.

Порівняли вартість геліоустановок з іншими джерелами енергії. Для жителів  питома вартість електроенергії за наявності високовольтної мережі (в/в мережа) дорівнюватиме 2,5 грн/ кВт · г, за умови використання дизель-генератора її вартість буде 25 грн / кВт · г, за умови використання вітрових електростанцій – 5 грн / кВт · г, а за умови використання ГУ -  6 грн/ кВт · г. З цього видно, що вартість електроенергії ГУ в 5 разів дорожча за мережеву електроенергію, в 2 рази дешевша за електроенергію від дизель-генератора, але в 2 рази дорожча за вітрову електроенергію.

# 5 ПЛАНУВАННЯ ТА ВИТРАТИ НАУКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКОЇ РОБОТИ

## 5.1 Організація виконання науково-дослідної роботи

### 5.1.1 Планування етапів науково-дослідної роботи

Розробка науково-дослідної роботи передбачає систематичний аналіз проблеми, визначення мети та завдань, а також розробку детальної програми експериментів.

Дослідження спрямоване на наукове обґрунтування ефективності та надійності застосування геліоустановок для теплопостачання будівель. Отримані результати дозволять розробити рекомендації щодо оптимізації енергоспоживання, зниження експлуатаційних витрат та підвищення стабільності роботи систем. Основні етапи дослідження наведені в таблиці 5.1.

| № етапу | Етап НДР | Зміст етапу |
|---|---|---|
| 1 | Літературний огляд і постановка завдань дослідження | 1.1 Визначення мети та завдань дослідження.<br>1.2 Збір, вивчення й аналіз інформації з використання геліоустановок для теплопостачання та гарячого водопостачання з вітчизняних і зарубіжних джерел.<br>1.3 Аналіз сучасного стану геліоенергетики в Україні.<br>1.4 Вивчення основних типів сонячних колекторів.<br>1.5 Розробка методики для оцінки ефективності й надійності геліоустановок.<br>1.6 Уточнення програми дослідження. |
| 2 | Теоретичні дослідження | 2.1 Розрахунок енергетичної ефективності сонячних колекторів різних типів (плоских, вакуумних, повітряних).<br>2.2 Моделювання роботи геліоустановок за різних кліматичних умов України.<br>2.3 Оцінка економічної доцільності впровадження систем сонячного теплопостачання для приватних будинків. |

Продовження таблиці 5.1

| | | |
|---|---|---|
| 3 | Експериментальні дослідження | 3.1 Аналіз впливу параметрів розташування (кут нахилу, орієнтація на сонце) на ефективність роботи установок.<br>3.2 Оцінка реальної економії енергії та зменшення витрат на традиційне опалення й гаряче водопостачання. |
| 4 | Узагальнення і оцінка результатів | 4.1 Аналіз отриманих результатів експериментів і розрахунків.<br>4.2 Розробка рекомендацій щодо оптимального використання геліоустановок для теплопостачання.<br>4.3 Підготовка висновків і пропозицій для подальших досліджень і вдосконалення методик розрахунків. |
| 5 | Заключний | 5.1 Приймання науково-дослідної роботи.<br>5.2 Захист науково-дослідної роботи. |

### 5.1.2 Розрахунок трудомісткості науково-дослідної роботи

Для визначення обсягу роботи, який потрібно виконати, часто використовують метод оцінки за принципом "від мінімуму до максимуму". Тобто, виконавець сам оцінює, за який найменший і найдовший час він може виконати завдання. Далі, за допомогою формули (5.1), розраховується середній, найбільш ймовірний час виконання роботи.

$$T_{\text{оч,i}} = \frac{3\text{T}_{\text{min,i}} + 2\text{T}_{\text{max,i}}}{5} \tag{5.1}$$

де $\text{T}_{\text{max,i}}$ - максимальна трудомісткість роботи;

$T_{min,i}$ - мінімальна трудомісткість роботи;

$T_{оч,i}$ - очікувана трудомісткість.

При визначенні трудомісткість роботи, згідно таблиці 5.1, приймаємо наступну оцінку

| Номер етапу | $T_{max}$ | $T_{min}$ |
|---|---|---|
| 1 | 7 | 5 |
| 2 | 9 | 5 |
| 3 | 20 | 16 |
| 4 | 10 | 5 |
| 5 | 5 | 3 |

Визначаємо трудомісткість першого етапу:

$$T_{оч,1} = \frac{3 \cdot 5 + 2 \cdot 7}{5} = 5{,}8 = 6 \text{ чол} - \text{діб};$$

Визначаємо трудомісткість другого етапу:

$$T_{оч,2} = \frac{3 \cdot 5 + 2 \cdot 9}{5} = \frac{33}{5} = 6{,}6 = 7 \text{ чол} - \text{діб};$$

Визначаємо трудомісткість третього етапу:

$$T_{оч,3} = \frac{3 \cdot 16 + 2 \cdot 20}{5} = 17{,}6 = 18 \text{ чол} - \text{діб.};$$

Визначаємо трудомісткість четвертого етапу:

$$T_{оч,4} = \frac{3 \cdot 5 + 2 \cdot 10}{5} = 7 \text{ чол} - \text{діб.};$$

Визначаємо трудомісткість п'ятого етапу:

$$T_{оч,5} = \frac{3 \cdot 3 + 2 \cdot 5}{5} = 3{,}8 = 4 \text{ чол} - \text{діб};$$

### 5.1.3 Визначення кількості виконавців науково-дослідної роботи

При здійсненні науково-дослідної роботи допускається наступний склад виконавців. У таблиці 5.2 показано кількість виконавців, необхідних для НДР.

Таблиця 5.2 – Кількість виконавців НДР

| Номер этапу | Виконавець НДР | Кількість виконавців, $P_i$ , чол. |
|---|---|---|
| 1 | студент | 1 |
| 2 | студент, | 1 |
| 3 | викладач, студент | 2 |
| 4 | викладач, студент | 2 |
| 5 | студент | 1 |

### 5.1.4 Розрахунок тривалості етапів науково-дослідної роботи

Тривалість етапів дослідження $t_{оч,і}$ розраховується по формулі (5.2)

$$t_{оч,і} = \frac{T_{оч,і}}{P_і \cdot K_{вні}}, \tag{5.2}$$

де $T_{оч,і}$ – очікувана трудомісткість виконання даної роботи, чол-діб; величина $T_{оч,і}$ обирається згідно розрахунку за рівнянням (5.1)

$P_i$ – кількість виконавців, чол.; величина $P_i$ обирається згідно таблиці 5.2;

$К_{вні}$– коефіцієнт виконання норми (приймається $К_{вні}$= 0,97)

Тривалість першого етапу:

$$t_{оч,1} = \frac{6}{1 \cdot 0,97} = 6,18 = 6 \text{ діб};$$

Тривалість другого етапу:

$$t_{оч,2} = \frac{7}{2 \cdot 0,97} = 3,6 = 4 \text{ доби};$$

Тривалість третього етапу:

$$t_{оч,3} = \frac{18}{4 \cdot 0,97} = 4,63 = 5 \text{ діб};$$

Тривалість четвертого етапу

$$t_{оч,4} = \frac{7}{2 \cdot 0,97} = 3,6 = 4 \text{ доби};$$

Тривалість п’ятого етапу:

$$t_{оч,5} = \frac{4}{2 \cdot 0{,}97} = 2{,}06 = 2 \text{ доби.}$$

### 5.1.5 Побудова стрічкового графіка проведення науково-дослідної роботи

Через невелику кількість етапів та виконавців основним документом для плану реалізації НДР є стрічковий план.

Горизонтальна лінія вказує тривалість етапу роботи від першого робочого дня до останнього робочого дня. Згідно з розрахунками в пункті 5.1.4 загальний робочий період склав 21 днів. На основі обчислених даних побудуйте стрічкову діаграму, наведену в таблиці 5.3.

## 5.2 Розрахунок кошторису витрат на науково-дослідної роботи

Кошторисну калькуляцію складають на весь об'єм робіт по темі. Для визначення витрат для проведення дослідження необхідно розрахувати:

– витрати на основні матеріали;

– витрати на заробітну плату;

– витрати на амортизацію використаного устаткування;

– витрати на електроенергію;

– накладні витрати.

### 5.2.1 Розрахунок вартості основних матеріалів

У цьому розділі наведено детальний опис процесу закупівлі всіх необхідних матеріалів, обладнання та компонентів, які будуть використані для проведення дослідження. Крім того, також розраховані всі додаткові витрати, пов'язані з транспортуванням та підготовкою цих матеріалів до використання.

Транспортно-заготовчі витрати $S_{\text{тр.з}}$ складають 2 % від сумарних витрат на основні матеріали і розраховуються по формулі (5.3)

$$S_{\text{тр.з}} = \sum S_{\text{М}} \cdot 0{,}02, \tag{5.3}$$

де $S_{\text{М}}$– сумарні витрати на основні матеріали, грн.

Таблиця 5.3 – Стрічковий графік проведення науково-дослідної роботи

| Етапи | Трудомісткість, чол-діб | Кількість виконавців, чіол. | Тривалість етапів, діб | Виконання робіт по робочих днях | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 |
| 1 | 6 | 1 | 6 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | 7 | 2 | 4 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | 18 | 2 | 5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | 7 | 2 | 4 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5 | 4 | 1 | 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Сумарні витрати на основні матеріали при виконанні НДР наведено у таблиці 5.4.

Таблиця 5.4 – Розрахунок витрат на матеріали для науково-дослідній роботі

| Найменування матеріалів | Одиниця вимірювання | Кількість | Ціна за одиницю, грн. | Всього витрат, грн. |
|---|---|---|---|---|
| Персональний комп'ютер | шт. | 1 | 8000 | 8000 |
| Вимірювальні прилади (датчики температури) | кг | 5 | 600 | 3000 |
| Витратні матеріали (провідники, фітинги) | кг | 1 | 1200 | 1200 |
| Електроенергія для обладнання | | 200 | 8,25 | 1600 |
| Транспортно-заготівельні витрати, у розмірі 2% | – | – | – | 2400 |
| Разом | | | | 16200 |

### 5.2.2 Розрахунок витрат на амортизацію устаткування

Витрати на амортизацію ($S_{ам}$) використаного при дослідженнях устаткування визначаються по формулі

$$S_{ам} = \sum_{i=1}^{N} \frac{\alpha_{ам,i}}{100} \cdot K_{уст,i} \cdot \frac{T_{вик,i}}{T_{можл,i}}, \quad (5.4)$$

де $\alpha_{ам,i}/100$ - норма амортизаційних відрахувань для даного виду устаткування або приладу;

$K_{уст,i}$ - вартість устаткування або приладу і-го вигляду, грн;

$T_{вик,i}$ - тривалість використання даного і-го виду устаткування або приладу в дослідницькій роботі, год.;

$T_{можл,i}$ - можливе число годин використання і-го виду устаткування або приладів на протязі року;

N – кількість устаткування, шт.

При однозмінній роботі $T_{можл,і}$ приймається 2000 годин.

Розрахунок витрат на амортизацію устаткування і приладів приведений у таблиці 5.5.

Таблиця 5.5 – Витрат на амортизацію устаткування

| Найменування устаткування | К-ть одиниць | Ціна за одиницю, грн. | Норма амортизації, % | Тривалість використання, год. | $S_{ам}$, грн. |
|---|---|---|---|---|---|
| Персональный компьютер | 1 | 8000 | 15 | 100 | 120 |
| Вимірювальні прилади (датчики) | 1 | 600 | 10 | 100 | 250 |
| Разом | | | | | 370 |

### 5.2.3 Розрахунок затрат на електроенергію

Вартість електроенергії ($S_e$) витраченої на проведення дослідження визначають по формулі

$$S_e = \sum_{i=1}^{N} T_e \cdot N_{a,i} \cdot T_{вик,i} \cdot m_i \quad (5.5)$$

де $T_e$ - тариф за кожен споживаний кВт·год., грн;

$N_{a,i}$ - середня споживана потужність і-го виду устаткування, кВт;

$T_{вик,i}$ - тривалість використання і-го виду устаткування або приладу, год.;

$m_i$ - кількість устаткування і-го вигляду, шт.

Тариф за 1 кВт електроенергії з урахуванням ПДВ складає 4,32 грн.

Розрахунок витрат на електроенергію наведено у таблиці 5.6.

Таблиця 5.6 – Витрати на електроенергію

| Найменування устаткування | К-ть одиниць | Середня потужність, кВт | Кількість годин використання, год. | Тариф за 1кВт·год., грн. | Усього витрат, грн. |
|---|---|---|---|---|---|
| Персональный компьютер | 1 | 0,400 | 200 | 4,32 | 345 |
| Додаткове освітлення | - | 0,1 | 300 | 4,32 | 129,6 |
| Вентиляція/клімат-контроль | 1 | 2 | 150 | 4,32 | 1296 |
| Разом | | | | | 1770,6 |

### 5.2.4 Розрахунок заробітної плати і відрахувань

Розрахунок заробітної плати включає наступні пункти: посадовий оклад наукових, інженерно-технічних працівників, викладачів які виконують роботи за темою. Додаткова заробітна плата (включаючи чергові та додаткові відпустки, виплати за виконання державних і посадових обов'язків), винагороди.

Заробітна плата ($З_{вик,і}$) виконавців НДР розраховується по формулі

$$З_{вик,і} = \frac{З_{окл,і}}{Т_{міс}} \cdot Т_{етапу}, \quad (5.6)$$

де $З_{окл,і}$ – посадовий оклад, грн;

$Т_{міс}$ – кількість робочих днів в місяці, днів;

$Т_{етапу}$ – тривалість певного етапу, днів.

Величина заробітної плати по темі може бути представленою за формою, яка наведена у таблиці 5.7

Таблиця 5.7 Величина заробітної плати

| Виконавець | К-ть, чол. | Оклад, грн. | Тривалість, дні | Оплата праці, грн. |
|---|---|---|---|---|
| Керівник НДР | 1 | 10000 | 21 | 9545,45 |
| Студент | 1 | 0 | 21 | 0 |
| | | | Разом | 9545,45 |

Заробітна плата керівника $З_{вик}^{керів}$:

$$З_{вик}^{керів} = \frac{10000}{22} \cdot 21 = 9545{,}45 \text{ грн}$$

Премія складає 25 % від основної заробітної плати і розраховується за формулою

$$З_{прем}^{і} = З_{вик}^{і} \cdot \frac{25}{100}.$$

Премія керівника $З_{вик}^{керів}$:

$$З_{вик}^{керів} = \frac{9545{,}45 \cdot 25}{100} = 2386{,}36 \text{ грн.}$$

Загальний фонд заробітної плати розраховується з урахуванням фонду заробітної плати, преміального фонду і додаткової заробітної плати виконавців.

Додаткова заробітна плата $З_{вик}^{дод}$ розраховується у розмірі 10 % від фонду заробітної плати

$$З_{вик}^{дод} = \frac{9545,45 \cdot 10}{100} = 945,54 \text{ грн.}$$

Таким чином загальний фонд заробітної плати $З_{заг}$ складає

$$З_{заг} = З_{заг}^{вик} + З_{вик}^{дод} + З_{прем}^{і} \quad (5.7)$$

$$З_{заг} = 9545,45 + 945,54 + 2386,36 = 12877,35 \text{ грн}$$

Нарахування на фонд оплати праці $З_{нарах}^{фот}$ складає 37,5 % (або 0,375) від загального фонду заробітної плати $З_{заг}$:

$$З_{нарах}^{фот} = \frac{З_{заг} \cdot 37,5}{100} = \frac{12877,35 \cdot 37,5}{100} = 4829 \text{ грн}$$

З них:

- нарахування до фонду державного соціального страхування $З_{нарах}^{ФДСС}$ складає 2,5 %:

$$З_{нарах}^{ФДСС} = З_{заг} \cdot 0,025 \quad (5.8)$$

$$З_{нарах}^{ФДСС} = 12877,35 \cdot 0,025 = 321,93 \text{ грн.}$$

- нарахування до пенсійного фонду $З_{нарах}^{ПФ}$ складає 32 %:

$$З_{нарах}^{ПФ} = З_{заг} \cdot 0,32 \quad (5.9)$$

$$З_{нарах}^{ПФ} = 12877,35 \cdot 0,32 = 4120,75 \text{ грн.}$$

- нарахування до фонду безробіття $З^{ФБ}_{нарах}$ складає 1,5 %:

$$З^{ФБ}_{нарах} = З_{заг} \cdot 0{,}015 \quad (5.10)$$

$$З^{ФБ}_{нарах} = 12877{,}35 \cdot 0{,}015 = 193{,}16 \text{ грн}$$

- до фонду соціального страхування від нещасного випадку $З^{ФНС}_{нарах}$ складає 1,5 %:

$$З^{ФНС}_{нарах} = З_{заг} \cdot 0{,}015 \quad (5.11)$$

$$З^{ФНС}_{нарах} = 12877{,}35 \cdot 0{,}015 = 193{,}16 \text{ грн}$$

### 5.2.5 Накладні витрати

Накладні витрати $Н_{витр}$ складають 40 % від фонду оплати праці:

$$Н_{вирт} = З_{заг} \cdot 0{,}4 \quad (5.12)$$

$$Н_{вирт} = 12877{,}35 \cdot 0{,}4 = 5150{,}94 \text{ грн.}$$

### 5.2.6 Зведений кошторис витрат на проведення науково-дослідної роботи

Кошторис витрат на науково-дослідну роботу визначається на весь об'єм виконуваних робіт. Кошторис витрат наведено у таблиці 5.8.

Таблиця 5.8 – Кошторис витрат на проведення науково-дослідної роботи

| № з/п | Статті витрат | Всього витрат | |
|---|---|---|---|
| | | грн. | % |
| 1 | Витрати на матеріали | 16200 | 41,74 |
| 2 | Основна заробітна плата | 9545,45 | 24,59 |
| 3 | Додаткова заробітна плата | 945,54 | 2,44 |
| 4 | Нарахування на фонд оплати праці (37,5 %): | 4829 | 12,44 |
| | - на державне соціального страхування (2,5%) | 321,93 | – |
| | - до пенсійного фонду (32%) | 4120,75 | – |
| | - до фонду безробіття (1,5%) | 193,16 | – |
| | - до фонду соціального страхування від нещасного випадку (1,5%) | 193,16 | – |
| 5 | Амортизаційні відрахування | 370 | 0,95 |
| 6 | Витрати на електроенергію | 1770,6 | 4,56 |
| 7 | Накладні витрати | 5150,94 | 13,27 |
| Разом | | 38811,53 | 100 |

## ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 5

Для проведення науково-дослідної роботи було розроблено детальний стрічковий графік, який передбачав виконання всіх завдань за 21 день. Згідно з фінансовим аналізом, загальна вартість проекту склала 38 811,53 грн. Основні витрати були спрямовані на закупівлю матеріалів (41,74%) та оплату праці науково-дослідного персоналу (40%).

# 6 ОХОРОНА ПРАЦІ

## 6.1 Основні відомості та завдання по розділу

Під охороною праці розуміють правові, соціально-економічні, організаційно-технічні, санітарно-гігієнічні, лікувально-профілактичні заходи, спрямовані на охорону життя, здоров'я і працездатності людини при здійсненні діяльності.

Основними завданнями охороною праці є:

1. Забезпечення безпечних умов праці – розробка та впровадження заходів для мінімізації ризиків і запобігання виробничим травмам.

2. Захист здоров'я працівників – створення умов, що сприяють збереженню фізичного та психічного здоров'я під час виконання трудових обов'язків.

3. Контроль за дотриманням норм і стандартів – організація контролю за виконанням вимог законодавства у сфері охорони праці, а також за дотриманням встановлених норм безпеки.

4. Навчання і підвищення обізнаності працівників – проведення інструктажів, курсів та навчань з охорони праці для підвищення рівня обізнаності працівників про безпечну роботу.

5. Аналіз і профілактика нещасних випадків – проведення розслідувань причин виробничих травм і професійних захворювань, а також розробка профілактичних заходів для запобігання подібним випадкам у майбутньому.

6. Оцінка ризиків – систематичний аналіз умов праці для виявлення потенційних ризиків і визначення методів їх усунення або зниження.

7. Покращення умов праці – модернізація обладнання, технологій з метою підвищення безпеки на робочих місцях.

## 6.2 Характеристика умов праці

Сонячний колектор типу "Плоский" моделі SUNSYSTEM PK SELECT CL 2.15 призначений для ефективного збору та перетворення сонячної енергії в теплову енергію для опалення та гарячого водопостачання. Потужність колектора становить 2,2 кВт, а коефіцієнт корисної дії – 85%. Колектор працює при напрузі живлення 220 В, має міцну конструкцію, стійку до змін температури та погодних умов, що забезпечує надійність і довговічність при експлуатації.

Водонагрівач-бак Termeks STP використовується для зберігання нагрітого теплоносія, отриманого від сонячного колектора. Об'єм бака складає 200 літрів, що є оптимальним для малоповерхових будинків. Бак оснащений теплоізоляцією для мінімізації теплових втрат і забезпечення максимальної енергетичної ефективності. Це дозволяє підтримувати необхідну температуру води на протязі тривалого часу після її нагріву.

Циркуляційна насосна станція 25/60 забезпечує ефективну циркуляцію теплоносія між сонячним колектором і баком для гарячого водопостачання. Вона дозволяє підтримувати стабільний температурний режим у системі та забезпечує безперебійну роботу всієї установки. Потужність насоса становить 80 Вт, що є енергоефективним для невеликих систем опалення та геліосистем, знижуючи витрати на енергію.

Геліоенергетичні системи, що складаються з сонячного колектора, водонагрівача-бака та циркуляційного насоса, є безпечними для використання при правильній експлуатації та обслуговуванні. Важливо забезпечити їх встановлення в умовах, що відповідають вимогам безпеки. Це включає ізоляцію електричних компонентів для запобігання ураженню електричним струмом та використання належних захисних елементів для мінімізації ризику перегріву. Обслуговування системи повинно здійснюватися кваліфікованим персоналом, який ознайомлений з вимогами безпеки та правильною експлуатацією.

Мікроклімат у приміщеннях, що використовують геліоенергетичні системи для опалення та водопостачання, є важливим для комфортної експлуатації цих систем. Оптимальні умови для роботи системи забезпечуються при температурі робочої зони 18°C і відносній вологості 55%. Ці умови сприяють ефективному використанню енергії сонця для обігріву приміщень, що дозволяє працювати системам без перенавантаження терморегуляції.

### 6.3 Промислова санітарія

При проектуванні системи опалення житлового будинку я використовую плоский сонячний колектор SUNSYSTEM PK SELECT CL 2.15. Потужність цього колектора складає 2,5 кВт, коефіцієнт корисної дії — 85%. Колектор працює при напрузі живлення 220 В і має конструкцію, що витримує різкі температурні зміни та погодні умови.

Водонагрівач-бак для гарячого водопостачання Termeks STP, об'єм 200 літрів. Цей бак призначений для зберігання нагрітого теплоносія, отриманого від сонячного колектора. Бак оснащений теплоізоляцією для зменшення теплових втрат і забезпечує максимальну енергоефективність. Його розміри підходять для малоповерхових будинків.

Циркуляційна насосна станція 25/60 забезпечує ефективну циркуляцію теплоносія між колектором та баком для гарячого водопостачання, підтримуючи стабільний температурний режим. Потужність насоса складає 80 Вт, що є оптимальним для роботи з невеликими геліоенергетичними установками.

Особливості та безпека використання геліоенергетичних систем є безпечними за умови правильного монтажу та обслуговування. Важливо забезпечити встановлення та експлуатацію цих приладів відповідно до вимог безпеки, зокрема для запобігання ураженню електричним струмом (ізоляція електричних компонентів) та мінімізації ризику перегріву. Обслуговування

повинно здійснюватися персоналом, що ознайомлений із вимогами експлуатації та безпеки.

### 6.4 Заходи з техніки безпеки

Кваліфікованість персоналу: Монтаж і технічне обслуговування мають виконувати лише кваліфіковані спеціалісти, які пройшли інструктаж з техніки безпеки і мають дозвіл на роботу з геліоустановками. (ДСТУ ISO 45001:2019).

Знайомство з інструкціями: Перед початком робіт всі учасники мають бути ознайомлені з інструкціями з експлуатації обладнання, зокрема колектора та бойлера. Особливу увагу слід приділити вимогам до експлуатації підвищеної небезпеки (ДСТУ Б В.2.5-39:2008).

Заземлення: Всі компоненти геліосистеми, що підключені до електромережі (наприклад, циркуляційна насосна станція та бойлер), повинні мати якісне заземлення. Це забезпечить безпечну роботу обладнання та запобіжить ураженню електричним струмом. (ДСТУ EN 61140:2008).

Автоматичний вимикач: На лінії подачі електроживлення до системи необхідно встановити автоматичний вимикач, який забезпечить можливість швидкого відключення електроживлення в разі потреби, а також захистить систему від короткого замикання.

Контроль напруги: Перевірка напруги та стабільності електроживлення перед початком експлуатації є важливою, щоб уникнути аварійних ситуацій через перепади напруги.

Запобіжні клапани та розширювальний бак: Для запобігання аварійним ситуаціям, спричиненим надмірним тиском, в системі необхідно встановити розширювальний бак та запобіжний клапан, які дозволять компенсувати об'єм рідини при нагріванні та скинути надлишковий тиск. Це відповідає вимогам безпеки для систем опалення та гарячого водопостачання (ДСТУ Б В.2.5-35:2008).

Манометр: Для контролю тиску в системі рекомендується встановити манометр, який дозволяє візуально оцінити рівень тиску і своєчасно прийняти заходи для його стабілізації.

Підготовка перед заповненням системи: Забороняється вмикати систему без попереднього заповнення водою або теплоносієм. Перекриття вентиля або замерзання води може спричинити пошкодження обладнання та загрозу аварійної ситуації.

Видалення повітря: У системах закритого типу необхідно передбачити повітровідвідник для видалення повітря із системи та забезпечення безперебійної циркуляції теплоносія (ДСТУ EN 12976-1:2018).

Термообмежувач: Установлення термообмежувача, який автоматично відключає електроживлення у випадку перевищення граничної температури (наприклад, понад 110 °C), є необхідним заходом для уникнення перегріву та пошкодження компонентів системи.

Інструктаж щодо безпеки: Заборонено підвищувати температуру води в бойлері понад встановлені межі, оскільки це може призвести до аварійного збільшення тиску в системі та потенційно небезпечних ситуацій.

Не залишати систему без нагляду: Система не повинна залишатися ввімкненою без нагляду на тривалий час, особливо в періоди підвищених температур або при замерзанні.

Регулярний огляд: Проведення регулярного технічного огляду компонентів системи, зокрема колектора, насосної станції, бойлера та електричної проводки, знижує ризик поломок і підвищує ефективність роботи.

### 6.5 Заходи з пожежної безпеки

Геліоустановка обладнана системами безпеки, які включають:

- запобіжний клапан, що знижує ризик вибуху у разі перевищення тиску;
- трьохходовий вентиль та байпас, що забезпечують плавну циркуляцію рідини і запобігають перегріву;
- автоматика проти замерзання, яка захищає систему в зимовий період;
- захист від заклинення насоса, що виключає його перегрів або поломку;
- датчики тиску та температури, які контролюють критичні параметри і сигналізують про небезпечні відхилення.

Ці технічні особливості мінімізують ризики виникнення пожежі під час експлуатації обладнання.

Дії у разі виникнення пожежі:

Негайно викликати рятувальну службу за телефоном 101, повідомивши адресу об’єкта, характер пожежі, наявність людей та свої дані.

1) Евакуація та локалізація:

- забезпечити евакуацію людей із зони загоряння.
- за можливості, спробувати локалізувати пожежу за допомогою наявних засобів пожежогасіння (вогнегасник, вода чи інші засоби).

2) Додаткові служби:

- у разі потреби викликати швидку допомогу (103) або газову службу (104), якщо є загроза вибуху газового обладнання.

3) Інформування сусідів:

- попередити сусідів про небезпеку, особливо якщо пожежа поширюється на суміжні території.

Ознайомлення мешканців та персоналу

Мешканці будинку та відповідальні працівники повинні бути ознайомлені з правилами пожежної безпеки обладнання, інструкціями з експлуатації та діями у разі виникнення пожежі.

Надання першої допомоги:

1) у разі необхідності викличте швидку допомогу за телефоном 103;

2) винесіть потерпілого на свіже повітря, укутайте його і не дозволяйте заснути;

3) при втраті свідомості дайте понюхати нашатирний спирт;

4) у разі зупинки дихання проведіть штучне дихання, а за відсутності пульсу — непрямий масаж серця.

### 6.6 Розрахунок заземлення

Виконати розрахунок захисного заземлення для електроустановки з напругою до 1000 В при допустимому опорі заземлюючого пристрою: $R_д$ = 4 Ом. Грунт - чорнозем. Питомий опір ґрунту: ρ = 30 Ом·м. Тип заземлювача: кутовий у землі (рис 5.1). Розміри заземлювача: довжина кутка l = 3 м, ширина кутка , b = 43 мм = $43 \cdot 10^{-3}$ м, глибина занурення $t_0$ = 0,6 м.

Схема розташування заземлювача представлена на рисунку 6.1

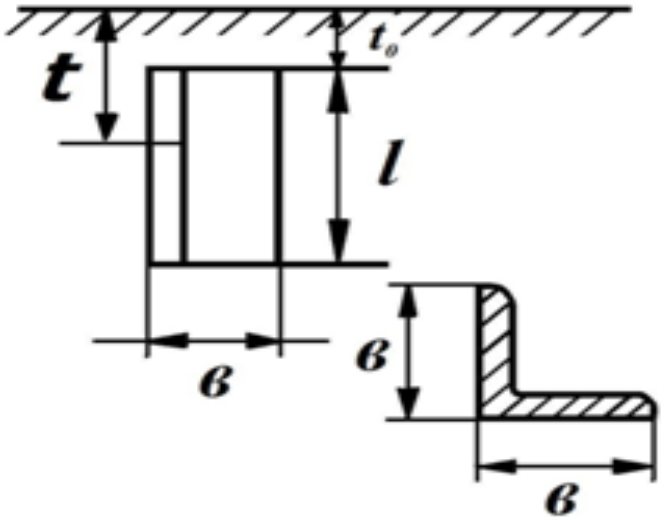



Рисунок 6.1 - Схема розташування заземлювача

Опір протіканню струму одного заземлювача:

$$t = \frac{1}{2} l + t_0 = 0{,}5 \cdot 3 + 0{,}6 = 2{,}1\,м$$

$$R_1 = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot l} (\ln(\frac{2{,}1 \cdot l}{b}) + \frac{1}{2} \cdot \ln(\frac{4{,}2 \cdot t + l}{4{,}2 \cdot t \cdot l})) = \frac{30}{2 \cdot 3{,}14 \cdot 3} (\ln(\frac{2{,}1 \cdot 3}{43 \cdot 10^{\ 3}}) + \frac{1}{2} \cdot \ln(\frac{4{,}2 \cdot 2{,}1 + 3}{4{,}2 \cdot 2{,}1 \cdot 3})) = 14{,}168\,Ом$$

$R_1 > R_d$ - отже, потрібно більше одного заземлювача.

Знаходимо необхідне число паралельно з'єднаних заземлювачів при коефіцієнті використання вертикальних заземлювачів $\eta_\beta = 1$

$$n' = \frac{R_1}{\eta_\beta \cdot R_o} = \frac{14{,}168}{1 \cdot 4} = 3{,}542 \approx 4 \text{ шт}$$

Фактичний коефіцієнт використання заземлювачів: $\eta_ф = 0{,}73$

Фактичний опір вертикальних заземлювачів:

$$R_{вф} = \frac{R_1}{\eta_ф \cdot n} = \frac{14{,}168}{0{,}73 \cdot 4} = 4{,}852\,Ом$$

Для зв'язку вертикальних заземлювачів застосовуємо з'єднувальну стрічку (рис 6.1): протяжна круглого перерізу у землі, діаметр стрічки: d = 25 мм = $25 \cdot 10^{-3}$ м.

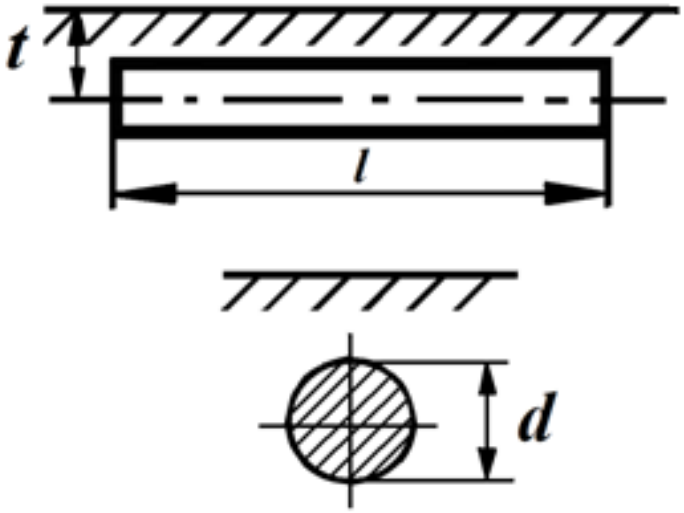



Рисунок 6.1 - Схема з’єднувальної стрічки

Опір протіканню струму з’єднувальної стрічки:

$$R_{1n} = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot l_n} \ln\left(\frac{l_n^{\,2}}{d \cdot t_n}\right)$$

де $l_n = 1{,}1 \cdot a \cdot (n-1) = 1{,}1 \cdot 3 \cdot 3 = 9{,}45 м$ , а = 3 м

$$t_n = \frac{1}{2} d + t_0 = 0{,}025 \cdot 0{,}5 + 0{,}6 = 0{,}612 \text{ м}$$

тоді $$R_{1n} = \frac{30}{2 \cdot 3{,}14 \cdot l_n} \ln\left(\frac{13{,}2^{\,2}}{0{,}025 \cdot 9{,}45}\right) = 7{,}3 Ом$$

Коефіцієнт використання стрічки: $\eta_n = 0{,}77$.

При цьому опір стрічки:

$$R_n = \frac{R_{1n}}{\eta_n} = \frac{7{,}3}{0{,}77} = 9{,}483 Ом$$

Тоді фактичний опір заземлюючого пристрою з вертикальних заземлювачів і з'єднувальної стрічки визначається так:

$$R_з = \frac{R_{вф} \cdot R_п}{R_{вф} + R_п} = \frac{4{,}852 \cdot 9{,}483}{4{,}852 + 9{,}483} = 3{,}21\,Ом$$

$$R_з < R_д$$

Оскільки фактичний опір заземлюючого пристрою не перевищує допустимого, то пристрій вибрано правильно.

### 6.7 Охорона навколишнього середовища

Велика перевага використання геліоустановок у тому, що відсутні шкідливі викиди .

Геліоустановки та сонячні колектори працюють на відновлюваній сонячній енергії, а це означає, що під час роботи в атмосферу не викидаються парникові гази та інші забруднюючі речовини. Це значно зменшує вплив на навколишнє середовище порівняно з традиційними джерелами енергії, такими як газові або твердопаливні котли.

Високий коефіцієнт корисної дії обладнання дозволяє ефективно використовувати енергію, зменшуючи потребу в додаткових джерелах енергії та мінімізуючи вплив на довкілля.

Сучасні сонячні колектори виготовляють із довговічних і екологічно чистих матеріалів, що знижує потребу у їхній заміні, а відтак і кількість відходів.

Встановлення систем вимірювання та моніторингу (лічильників тепла, води та електроенергії) забезпечує раціональне використання ресурсів. Це дає можливість контролювати споживання енергії та води і зменшити їх надмірне використання.

В рамках проекту планується використання високоякісної ізоляції в водопровідній та опалювальній системах, щоб зменшити втрати тепла та підвищити ефективність системи.

Отже, проект спрямований на мінімізацію будь-яких негативних впливів шляхом впровадження енергоефективних рішень, автоматизації роботи обладнання та підвищення його надійності. Геліоустановки є екологічно безпечним рішенням для зменшення вуглецевого сліду, покращення якості повітря та забезпечення сталого розвитку.

## ВИСНОВОК ДО РОЗДІЛУ 6

Охорона праці важливий аспект у будь-якій роботі. Тому у цьому розділі було розглянуто усі проблеми при виконанні науково-дослідницької роботи та представлені методи їх запобігання.

Проведено детальний аналіз умов праці, безпеки та екологічних аспектів, пов’язаних із встановленням та експлуатацією геліоустановок.

Реалізація запропонованих заходів забезпечить високий рівень безпеки та відповідність нормативним вимогам, сприяючи ефективній та надійній роботі геліоустановок.

# ВИСНОВОК

В рамках роботи було проведено комплексне дослідження ефективності та надійності використання геліоустановок для теплопостачання будівель. Об'єкт дослідження - плоский сонячний колектор (ПСК) - був обраний як оптимальний варіант завдяки своїй простій конструкції, довговічності та простоті експлуатації. Для оцінки його ефективності було використано математичне моделювання, що дозволило детально проаналізувати процеси теплопередачі та нагріву теплоносія.

Методика дослідження, яка включала використання методу кінцевих різниць, дозволила розробити чисельну модель, яка може враховувати як фізичні та геометричні характеристики ПСК, так і вплив зміни кута падіння сонячних променів протягом дня. Розрахунки показали, що можна досягти високої ефективності колектора за умови врахування теплових втрат та оптимізації конструкції.

Економічна оцінка показала, що використання ПСК для нагріву води є доцільним у порівнянні з електричними нагрівачами і призводить до економії 5064,19 гривень на рік. Однак порівняння з централізованими водонагрівачами показало, що витрати на використання сонячних систем є вищими через нижчі температурні параметри води. Тим не менш, термін окупності ПСК, який становить 4,7 року, підтверджує реальність і перспективність його впровадження в умовах зростання вартості традиційних енергоресурсів.

Особлива увага приділяється питанням охорони праці та техніки безпеки, що забезпечує безпечну експлуатацію сонячних установок.

В цілому дослідження підтверджує перспективність використання сонячних колекторів як одного з найбільш екологічних та енергоефективних джерел теплопостачання, що сприяє скороченню споживання викопних видів палива та викидів парникових газів.

# ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Форкун Я. Б. Сонячна теплоенергетика : конспект лекцій (для студентів усіх форм навчання спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка, освітньої програми – «Нетрадиційні та відновлювальні джерела енергії») / Я. Б. Форкун, О. О. Шкурпела ; Харків нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2020. 88 с.

2. Шнейдер С.В. Розробка альтернативного енергопостачання житлового будинку в м. Одеса : кваліф. робота магістра зі спеціальності 144 «Теплоенергетика». Полтава : Національний університет імені Юрія Кондратюка, 2024. 86 с.

3. Тимошик А. М., Ціж Б. Р., Варивода Ю. Ю. Використання енергії Сонця: навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів очної та заочної форм навчання технічних і технологічних спеціальностей. Львів: Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій імені С. З. Ґжицького, 2021.

4. Форкун Я.Б., Шкурпела О.О. Сонячна теплоенергетика. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2020. 88 с.

5. Ратушняк Г. С. Джеджула В. В., Анохіна К. В.Енергозберігаючі відновлювальні джерела теплопостачання : навчальний посібник. Вінниця : ВНТУ, 2010. 170 с.

6. Кудря С. О., Яценко Л. В., Душина Г. П. та ін. Атлас енергетичного потенціалу відновлюваних та нетрадиційних джерел енергії України. Інститут електродинаміки НАН України. Київ : Видавництво Державного комітету України з енергозбереження, 2001. 41 с.

7. Кузнєцов М. П. Особливості комбінованих енергосистем з відновлюваними джерелами енергії: монографія. Київ: ІВЕ, 2022 142 с.

8. Ковальов С. В., Сустрєва А. М. Нова конструкція трубчатого теплообмінника для поліпшення теплообміну в геліосистемах. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету : технічні науки*. Мелітополь : ТДАТУ, 2019.- Вип. 19. Т.1. С. 110-117.

9. Зурьян А. Анатомия гелиосистемы. *Альтернативні джерела енергії*, 2010. № 9/10. С. 24-29.

10. Зурьян А. Место под солнцем, или економическое обоснование целесообразности использования солнечной енергии по сравнению с традиционными источниками енергии в устройствах для нагрева воды. *Альтернативні джерела енергії*, 2010. № 5/6. С. 26-28.

11. Капралов А. И. Рекомендации по применению жидкостных солнечных коллекторов. ВИНИТИ, 2008. 115 с.

12. Hottel, H. C. and Whillier, A.: "Evaluation of Flat-Plate Solar Collector Performance," Trans. of the Conference on the Use of Solar Energy - The Scientific Basis, Vol. 2, Tucson, AZ, Oct. 31. Nov. 1. 2009. P. 74 - 104.

13. Мхитарян Н.М. Гелиоэнергетика. Киев : Наукова думка, 2002. 350 с.

14. Титко Р. В., Калініченко В.М. Відновлювальні джерела енергії (досвід Польщі для України) : навч. Посібник. Варшава : OWG, 2010. 530 с.

15. Кудря С. О. Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії : підручник. Київ : Національний технічний університет України «КПІ», 2012. 495 с.

16. Соловей О. І., Лега Ю. Г., Розен В. П. [та ін.] Нетрадиційні та поновлювальні джерела енергії; за ред. О. І. Солов’я. Черкаси : Вид. ЧДТУ, 2007. 642 с.

17. Шевчук В.Я, Білявський Г.О., Саталкін Ю.М., Навроцький В.М. Екологізація енергетики : навчальний посібник. Київ : Вища освіта, 2002. 111 с.

18. Технології та обладнання для використання поновлюваних джерел енергії в сільськогосподарському виробництві : посібник за ред. Кравчук В. І., Дубровіна В. О. Серія: Сільськогосподарська техніка - XXI , 2010.180 с.

19. Єсіпов О. В. Теплова ефективність сонячних колекторів // Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка. Харків.

20. Жукович І . А . Витрати на наукові дослідження і розробки: методологічні засади розрахунку та світові тенденції фінансування наукової сфери . Статистика України. 2024 . № 2 . С . 35–45 .

21. Вимоги до кваліфікаційної роботи**.** Методичні вказівки по оформленню кваліфікаційних робіт здобувачів вищої освіти другого (магістерського) рівня вищої освіти галузі знань 14 «Електрична інженерія» спеціальностей 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», 144 «Теплоенергетика», 145 «Відновлювані джерела енергії ті гідроенергетика» денної та заочної форми навчання/ Укл.: С.В. Башлій, В.Л. Коваленко, В.В. Артемчук. Запоріжжя: ЗНУ, 2023. 20с.

22. Сучасні дослідження: транспортна інфраструктура та інноваційні технології: матеріали II Міжнародної науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти, викладачів та науковців (29–30 листопада 2023 р., м. Київ). Київ: Київський інститут залізничного транспорту Державного університету інфраструктури та технологій, 2023. Ч. 1. 329 с. Реєстр. УкрІНТЕІ №396 від 09.10.2023.

23. Romero Rodríguez, L., Solerón Lissén, J. M., Sánchez Ramos, J., Rodríguez Jara, E. A., & Álvarez Domínguez, S. (2016). Analysis of the economic feasibility and reduction of a building’s energy consumption and emissions when

integrating hybrid solar thermal/PV/micro-CHP systems. *Applied Energy, 165*, 828-838

24. Master of Science in Mechanical Engineering. Institute of Graduate Studies and Research. Thesis (M.S.) - Eastern Mediterranean University, Faculty of Engineering, Dept. of Mechanical Engineering. Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Murat Özdenefe, 2021. 88p.

25. Хайрнасов С. М. Дослідження теплотехнічних характеристик сонячних теплових колекторів на основі алюмінієвих профілів / С. М. Хайрнасов, В. К. Заріпов, Б. М. Рассамакін, Д. В. Козак // Відновлювана енергетика. - 2013. - № 3. - С. 33-39.

26. Адаменко О. та ін. Альтернативні палива та інші нетрадиційні джерела енергії. Підручник для енергетичних і екологічних спеціальностей вищих навчальних закладів/О.Адаменко, В.Височанський, В.Льотко, М.Михайлів. Івано Франківськ: Полум'я, 2000-159с.

27. Selikhov, Y., Kotsarenko, V., Gorbunov, K. O., Maksysko, O., Krasnokutsky, E., & Gorbunova, O. (2015). THE FEASIBILITY OF USING THE SYSTEM OF SOLAR COLLECTORS IN THE EASTERN REGIONS OF UKRAINE. Scientific Messenger of LNU of Veterinary Medicine and Biotechnologies. Series: Food Technologies, 17(4), 121-125.

28. Бринза Андрій, Мовчан Леонід Наук. кер. – канд. техн. наук, доц. Карпенко Г.В. Визначення економічної доцільності використання геліоенергетичних систем . Збірник наукових праць студентів, аспірантів, докторантів і молодих вчених «Молода наука-2024»: у 5 т. / Запорізький національний університет. – Запоріжжя: ЗНУ, 2024. Т.5 – 569 с. С. 62-63

29. Бринза Андрій, Івченко Микита Науковий керівник канд. техн. наук, доцент Єрофєєва А.А. Енергозбереження в Україні під час війни: економіко-екологічні аспекти. Збірник наукових праць студентів, аспірантів,

докторантів і молодих вчених «Молода наука-2024»: у 5 т. / Запорізький національний університет. – Запоріжжя: ЗНУ, 2024. Т.5 – 569 с.С. 64-65

30. Бринза Андрій Наук. кер.: канд. філол. наук, доц. Мосієвич Л. В. Переклад україномовних багатокомпонентних термінів з теплоенергетики англійською мовою. Збірник наукових праць студентів, аспірантів, докторантів і молодих вчених «Молода наука-2024»: у 5 т. / Запорізький національний університет. – Запоріжжя: ЗНУ, 2024. Т. 2. 313 с. С.90-91.

31. Brynza Andrey, Vozniy Alexander, Karpenko Anna Contemporary development trends of the heat energy in Ukraine. Nauka I Studia, (9). Retrieved from URL: https://nauka-i-studia.eu/ojs/index.php/pl_ojs/article/view/248 (стаття)

32. Бринза А.Є., Науковий керівник – канд. техн. наук, доцент кафедри Карпенко Г.В. Визначення доцільності переводу парового котла енергоблоку запорізької ТЕС на газоподібне паливо. III Всеукраїнська науково-практична конференція за участю молодих науковців «Актуальні питання сталого науково-технічного та соціально-економічного розвитку регіонів України» (17-20 жовтня 2023). Запоріжжя 2023, с.52 URL: https://www.znu.edu.ua/ii_znu/nauka/conf6/zbirnyk_23.pdf

33. Zhao B.Y., Li Y., Wang R.Z., Zhao Z.G., Taylor R.A. A universal method for performance evaluation of solar photovoltaic air-conditioner // Solar Energy. 2018. Vol. 172, Part 1. P. 58–68.

34. Bosu, I., Mahmoud, H., Ookawara, S., & Hassan, H. (2023). Applied single and hybrid solar energy techniques for building energy consumption and thermal comfort: A comprehensive review. *Solar Energy, 259,* 188-228.

35. Project Report 2008 MVK160 Heat and Mass Transport May 08, 2008, Lund, Sweden. Analysis of a Flat-plate Solar Collector. [Report]. Lund, Sweden: MVK160 Heat and Mass Transport, 2008.

36. Waheeb Essa Alnaser, Hussain Kazem, Miqdam Chaichan, et al. Energy Enhancement of Building-Integrated Photovoltaic/Thermal Systems: A Systematic Review. Authorea. July 16, 2024.

37. Mekhilef, S. & Saidur, R. & Safari, A., 2011. "A review on solar energy use in industries," Renewable and Sustainable Energy Reviews, Elsevier, vol. 15(4), pages 1777-1790, May.

38. Pinamonti, Maria & Baggio, Paolo, 2020. "Energy and economic optimization of solar-assisted heat pump systems with storage technologies for heating and cooling in residential buildings," Renewable Energy, Elsevier, vol. 157(C), pages 90-99.

39. Evangelisti, Luca & De Lieto Vollaro, Roberto & Asdrubali, Francesco, 2019. "Latest advances on solar thermal collectors: A comprehensive review," Renewable and Sustainable Energy Reviews, Elsevier, vol. 114(C), pages 1-1.

40. Chen, J.F. & Zhang, L. & Dai, Y.J., 2018. "Performance analysis and multi-objective optimization of a hybrid photovoltaic/thermal collector for domestic hot water application," Energy, Elsevier, vol. 143(C), pages 500-516.