

Хмельницький національний університет
Факультет інженерії, транспорту та архітектури
Кафедра машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА

Галузь знань 14 Електрична інженерія
Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
Освітня програма Електропобутова техніка

Розробка побутового сонячного колектора

Шифр БРМА 25.00.00.000 ПЗ

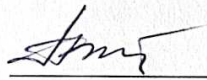
Виконав студент
4 курсу група ЕТ-21



Підпис

Атаманчук М.О.
Ініціали, прізвище

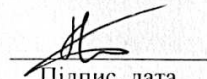
Керівник



Підпис, дата

Білий Л.А., д.т.н., проф.
Ініціали, прізвище

Нормоконтролер

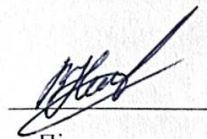


Підпис, дата

Мундик

Ініціали, прізвище

До захисту допускаю:
Зав. кафедри МАЕЕС



Підпис, дата

к.т.н., доц. Неймак В.С.
Ініціали, прізвище

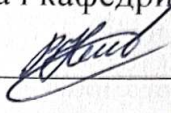
2 06 2025 р.

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії, транспорту та архітектури
Кафедра машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем
Освітній рівень бакалавр
Галузь знань 14 Електрична інженерія
Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
Освітня програма Електропобутова техніка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри МАЕЕС



2 . 06 . 2025 р.

З А В Д А Н Н Я
НА БАКАЛАВРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Атаманчук Максим Олександрович

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема роботи **Розробка побутового сонячного колектора**

Керівник роботи **Білий Л.А., д.т.н., проф.**

Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання

Затверджено наказом ректора університету від 7 02 2025 р. № 23

2. Строк подання студентом роботи на кафедру 2.06.25

3. Вихідні дані до роботи: **прототипи пристроїв для нагрівання води (колекторів), технологічні та технічні характеристики колекторів**

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Огляд інформаційних джерел за методами отримання теплової енергії з сонячного випромінювання та огляд пристроїв для генерації тепла за допомогою сонячної енергії

2 Розробка геліосистеми нагріву води для побутових потреб

3 Розроблення конструкції геліосистеми для нагрівання води для побутових потреб

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень)

Аркуш 1. Геліоустановки. Документ оглядовий (A1). **Аркуш 2.** Побутовий сонячний колектор. Документ ілюстраційний (A1). **Аркуш 3.** Побутовий сонячний колектор. Схема гідравлічна (A1). **Аркуш 4.** Побутовий сонячний колектор. Вид загальний (A1). **Аркуш 5.** Побутовий сонячний колектор. Креслення монтажне (A1). **Аркуш 6.** Побутовий сонячний колектор. Документ розрахунковий (A1).

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

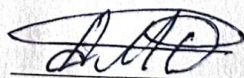
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

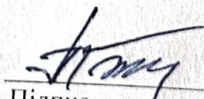
Назва етапів (розділів) кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1. Огляд інформаційних джерел за методами отримання теплової енергії з сонячного випромінювання та огляд пристроїв для генерації тепла за допомогою сонячної енергії	05.05.25 р.	
2 Розробка геліосистеми нагріву води для побутових потреб	20.05.25 р.	
3 Розроблення конструкції геліосистеми для нагрівання води для побутових потреб	10.06.25 р.	

Студент


Підпис

Атаманчук М.О.
Ініціали, прізвище

Керівник роботи


Підпис

Білий Л.А.
Ініціали, прізвище

АНОТАЦІЯ

до бакалаврської роботи студента
спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка».

1. Прізвище, ім'я та по батькові Атаманчук Максим Олександрович
2. Тема бакалаврської роботи Розробка побутового сонячного колектора
3. Прізвище, ініціали, вчена ступінь та звання рецензента _____

4. Об'єм бакалаврської роботи: креслень ___ арк., сторінок записки ___

5. Ця робота присвячена розробці побутового сонячного колектора
У роботі описується розробка та реалізація побутового сонячного колектора спрощеної конструкції, яка може бути використана у будь-яких умовах проживання.

В розрахунково-пояснювальній записці наведено всі необхідні розробки, а також розділи, що відповідають встановленим вимогам.

В першому розділі було проведено огляд та аналіз існуючих водонагрівальних установок, що працюють на основі використання сонячної енергії. На підставі проведеного дослідження можна зроблено висновок про їх переваги та недоліки. Сформульовано задачу на розробку системи побутового сонячного колектора. Намічені основні кроки для її реалізації.

В другому розділі було проаналізовано перспективи і доцільності впровадження геліосистем в умовах України. Запропоновано конструкцію геліосистеми нагріву води для побутових потреб на базі плоского колектора. Зроблено розрахунок та визначено конструктивних характеристик геліоколектора. Визначено кількість споживачів та встановлено об'єм потрібної кількості нагрітої води. Визначено оптимальний кута нахилу геліоколектора та азимутального напрямку встановлення та визначено площу геліоколектора системи для нагрівання води.

В третьому розділі було розроблено конструкцію геліосистеми нагрівання води для побутових потреб. Описано призначення основних елементів геліосистеми, розроблено геліопанель (геліоколектор). Здійснено розрахунок змієвикового теплообмінника геліоколектора. Проведено розрахунок конструктивних елементів опорної рами геліосистеми та здійснено розрахунок, що оцінює міцності конструкції рами.

Підпис студента

« 2 » 06 20 25 р.

Р І Ш Е Н Н Я Е К

Протокол 6 від « 26 » 06 20 25 р.

Оцінка проекту ЕК 4/5

Рекомендації ЕК —

Особливі відмітки —

Технічний секретар

« 26 » 06 20 25 р.

ЗМІСТ

Вступ.....	5
1. Огляд інформаційних джерел за методами отримання теплової енергії з сонячного випромінювання та огляд пристроїв для генерації тепла за допомогою сонячної енергії	7
1.1 Огляд методів отримання теплової енергії з сонячного випромінювання	7
1.2 Огляд пристроїв для генерації тепла за допомогою сонячної енергії ..	8
1.3 Формулювання завдання з проектування водонагрівальної системи ...	26
2 Розробка геліосистеми нагріву води для побутових потреб.....	28
2.1 Аналіз перспектив і доцільності впровадження геліосистем в умовах України	28
2.2 Розрахунок та визначення конструктивних характеристик геліоколектора	30
2.2.1 Визначення кількості споживачів гарячої води	31
2.2.2 Визначення об'єму потрібної кількості нагрітої води.....	32
2.2.3 Визначення оптимального кута нахилу геліоколектора та азимутального напрямку встановлення.....	34
2.2.4 Визначення площі геліоколектора системи для нагрівання води	44
3 Розроблення конструкції геліосистеми для нагрівання води для побутових потреб	48
3.1 Призначення та опис основних елементів геліосистеми	48
3.2 Проектування геліопанелі	49
3.3. Тепловий розрахунок змієвикового теплообмінника	53
3.4 Розрахунок конструктивних елементів опорної рами геліосистеми	58
3.5 Оцінка міцності конструкції рами	60
Висновки.....	62
Перелік джерел посилань.....	63
Додатки.....	65

БРМА 25.00.00.000 ПЗ								
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата	Розробка побутового сонячного колектора	Літера	Аркуш	Аркушів
Виконав	Атаманчук		<i>[Підпис]</i>			у	4	
Перевір.	Білий		<i>[Підпис]</i>		ХНУ, ЕТ-21			
Н.контр.	Пундик		<i>[Підпис]</i>					
Затвер.	Неймак		<i>[Підпис]</i>					

- доступність у будь-якій точці планети, при цьому щільність сонячного випромінювання змінюється не більше ніж удвічі;
- екологічна чистота — сонячна енергія не завдає шкоди довкіллю, навіть при широкомасштабному використанні;
- практична невичерпність — це джерело енергії залишатиметься доступним ще протягом мільйонів років.

Прямі соціальні витрати, пов'язані з негативним впливом традиційної енергетики, включають підвищення рівня захворюваності, зменшення тривалості життя, витрати на медичні послуги, зниження продуктивності праці, втрати врожаїв, необхідність відновлення лісів і ремонту будівель, пошкоджених внаслідок забруднення повітря, води та ґрунтів. За підрахунками, ці витрати збільшують реальну ціну на паливо й енергію приблизно на 50%. Це свого роду "екологічний податок", який уже давно неявно сплачують усі люди через власне здоров'я та фінансові втрати, і про який усе людство має нарешті усвідомити.

Тому перехід на екологічно безпечні джерела енергії — це не просто гасло, а реальна потреба сучасності.

Основні способи використання сонячної енергії — це її перетворення на електроенергію та використання для нагрівання за допомогою поглинання сонячного випромінювання. Хоча вироблення електроенергії є технічно складнішим процесом, застосування сонячної енергії для підігріву води чи опалення будівель уже стало звичним явищем. Звичайно, при цьому слід враховувати погодні умови, зокрема сезонні обмеження. Але навіть у Центральній Європі, де кількість сонячного світла обмежена, його цілком достатньо, щоб зменшити споживання палива або газу на підігрів води до 40%.

поглинання (82–92%). Поглинаючи сонячне світло, він може нагріватися до температури 50–90 °С, залежно від інтенсивності випромінювання. Нагріте тіло випромінює енергію, головна частка якої знаходиться в інфрачервоному спектрі.

У спектральному діапазоні інфрачервоного випромінювання скло має низький коефіцієнт пропускання, а вакуум у вакуумних сонячних колекторах практично повністю блокує вихід теплової енергії. Це створює так званий парниковий ефект — енергія накопичується під скляним покриттям, що спричиняє значне підвищення температури теплоприймача: до 160 °С у плоскому сонячному колекторі та до 250 °С у вакуумному, якщо тепло не відводиться теплоносієм (так званий режим стагнації). У робочому режимі накопичене тепло витрачається на підігрів води, яка циркулює через систему колекторів.

1.2 Огляд пристроїв для генерації тепла за допомогою сонячної енергії

Серед існуючих технічних рішень варто відзначити сонячну установку гарячого водопостачання [1], що належить до водонагрівальних систем, які використовують сонячну енергію. Вона може застосовуватися у системах гарячого водопостачання житлових, адміністративних, виробничих і сільськогосподарських об'єктів.

Метою цього технічного рішення є створення сонячної установки гарячого водопостачання, яка завдяки встановленню сонячних колекторів на поворотній рамі з дискретною системою орієнтації на Сонце, замкненому циклу циркуляції теплоносія та двоконтурному теплообміннику, дозволяє суттєво підвищити тепловий ККД і автоматизувати процес подачі води.

Ця установка включає: сонячні колектори, трубопровід подачі холодної води до бака-акумулятора та трубопровід для подачі гарячої води до споживача, бак-акумулятор, прямий трубопровід. Особливістю конструкції є те, що сонячні колектори закріплені на поворотній рамі, обладнаній програмованим дискретним механізмом, електрично зв'язаним із системою. На рамі також розміщено

					<i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						8
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

двоконтурний трубчастий теплообмінник: перший контур з'єднаний із сонячними колекторами через вхідний та вихідний трубопроводи, оснащені температурним датчиком і циркуляційним насосом відповідно. Другий контур підключений до бака-акумулятора прямим і зворотним трубопроводами з гнучких шлангів; на зворотному трубопроводі також встановлено циркуляційний насос.

Усередині бака-акумулятора на поверхні води розташований регулятор рівня наповнення, до якого підведено трубопровід подачі холодної води з електромагнітним клапаном. Додатково, на поворотній рамі змонтовано два комбіновані сонячні колектори, поверхня яких покрита абсорберами з кремнієвими фотоелектричними перетворювачами, підключеними до інвертора.

Система сонячного гарячого водопостачання складається з таких основних елементів: сонячні колектори 1 (рис. 1.1), теплообмінник 2, трубопровід подачі теплоносія 3 та трубопровід відведення теплоносія 4, які встановлено на поворотній рамі 5, бак-акумулятор 6, прямий 7 і зворотний 8 трубопроводи для циркуляції води між теплообмінником 2 та баком-акумулятором 6. На вхідному трубопроводі змонтовано температурний датчик 9, а на вихідному — циркуляційний насос 10, що забезпечує подачу теплоносія.

На поворотній рамі 5 розміщено два комбінованих сонячних колектори 11, поверхня яких обладнана кремнієвими фотоелектричними перетворювачами 12. Усередині бака-акумулятора 6 встановлено регулятор рівня рідини 13. До бака підведено трубопровід подачі холодної води 14 з електромагнітним клапаном 15, а також трубопровід для подачі гарячої води споживачеві 16.

Поворотна рама 5 оснащена механізмами горизонтального 17 і вертикального 18 обертання, програматором 19 і інвертором 20, який забезпечує електроживлення для комбінованих сонячних колекторів 11. У зворотному трубопроводі 8 додатково встановлено циркуляційний насос 21.

Установка функціонує наступним чином. У першому контурі теплоносіїв, нагріваючись у сонячних колекторах 1, надходить по вхідному трубопроводу 3, у якому встановлено температурний датчик 9, до теплообмінника 2. З теплообмінника нагрітий теплоносіїв подається по вихідному трубопроводу 4, де змон-

товано циркуляційний насос 10, і після досягнення заданої температури повертається назад у сонячні колектори.

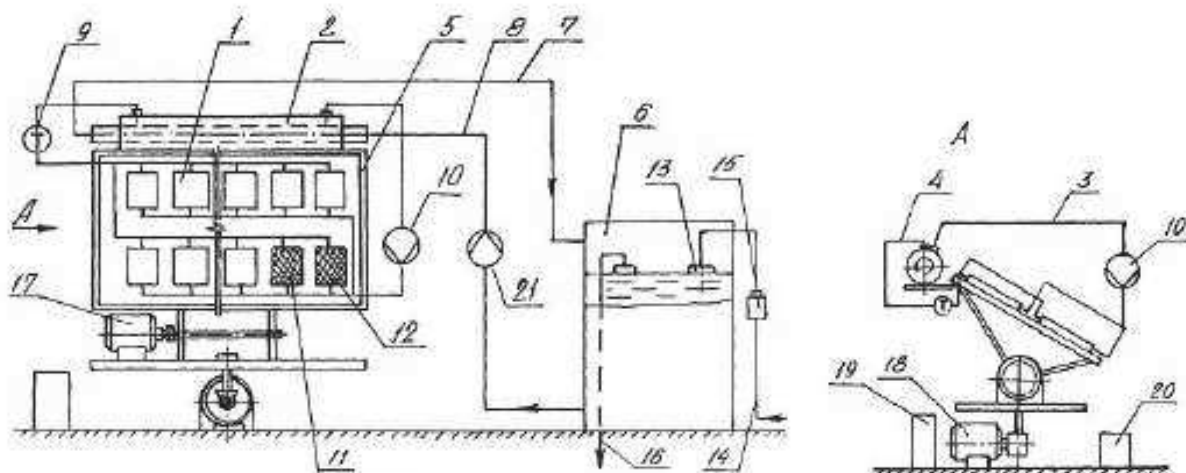


Рисунок 1.1 - Сонячна установка водопостачання гарячої води

Другий контур включає теплообмінник 2, прямий трубопровід 7, який з'єднує теплообмінник з баком-акумулятором 6, та зворотний трубопровід 8 з циркуляційним насосом. Обидва трубопроводи виконані з гнучких матеріалів. Вода, яка нагрівається у теплообміннику 2, подається в бак-акумулятор 6. До бака підключено трубопровід відведення гарячої води 16 до споживача та трубопровід 14 подачі холодної води з електроклапаном 15. У складі бака також передбачено регулятор рівня наповнення 13, який керує відкриттям і закриттям клапана 15.

На поворотній рамі 5 змонтовані сонячні колектори 1, два з яких є комбінованими 11 — на їх абсорберну поверхню нанесено кремнієві фотоелектричні перетворювачі 12. Ці елементи генерують електричну енергію, яка далі трансформується інвертором 20 та використовується для живлення приводів горизонтального 17 та вертикального 18 обертання рами, а також електроприводів 10 і 21 для циркуляційних насосів.

Упродовж світлового дня положення Сонця на небосхилі та інтенсивність його випромінювання змінюються, тому на поворотній рамі 5 встановлено меха-

нізми обертання у горизонтальній та вертикальній площинах. Вони функціонують відповідно до програми програматора 19, який подає команди на періодичне вмикання та вимикання приводів механізму обертання рами протягом дня, а також вимикає та повертає систему у вихідне положення після завершення світлового періоду.

Подібна сонячна установка гарячого водопостачання має автономне живлення для електродвигунів, є простою в конструктивному виконанні, надійною у використанні та дозволяє значно підвищити її термічну ефективність.

Відомою є пересувна сонячна геліоустановка [2], яка належить до мобільних душових систем, у яких вода нагрівається за допомогою геліоколекторів і може бути застосована у місцевостях, що віддалені від централізованих систем гарячого водопостачання.

Удосконалення мобільної душової геліоустановки полягає у її додатковому оснащенні ще однією душовою кабіною, баком для збору води, касетою з сорбентом для очищення води, скляними відкидними люками, теплими радіаторами та поворотною рамою, на якій закріплено геліоколектор і бак-акумулятор. Це забезпечує установці мобільність, підвищує комфорт експлуатації та покращує екологічні характеристики.

Згідно з корисною моделлю, мобільна душова геліоустановка включає колісну платформу з причіпним пристроєм, душову кабіну, встановлену всередині жорсткого каркасу, геліоколектор, бак-акумулятор, вентиля, змішувачі, трубопроводи з душовою насадкою. У середині каркасу додатково розміщена ще одна душова кабіна. Геліоколектор з баком-акумулятором встановлено на поворотній рамі, яка закріплена у верхній частині жорсткої металевої конструкції з можливістю фіксації у двох положеннях — транспортному та робочому. Під душовими кабінами на колісній платформі розміщено бак для збору використаної води, в якій вона надходить через патрубок, встановлений у підлозі кабін. Бак обладнаний касетою із сорбентом для очищення води. Стелі душових кабін оснащені прозорими відкидними люками, а в самих кабінах встановлені радіатори, що працюють від нагрітої води з бака-акумулятора.

патрубок оснащений змінною касетою з сорбентом, яка очищує воду від бруду та миючих речовин, після чого вона збирається в резервуар для використаної води. За необхідності очищену таким чином воду можна злити безпосередньо на землю або у спеціально відведені для цього місця.

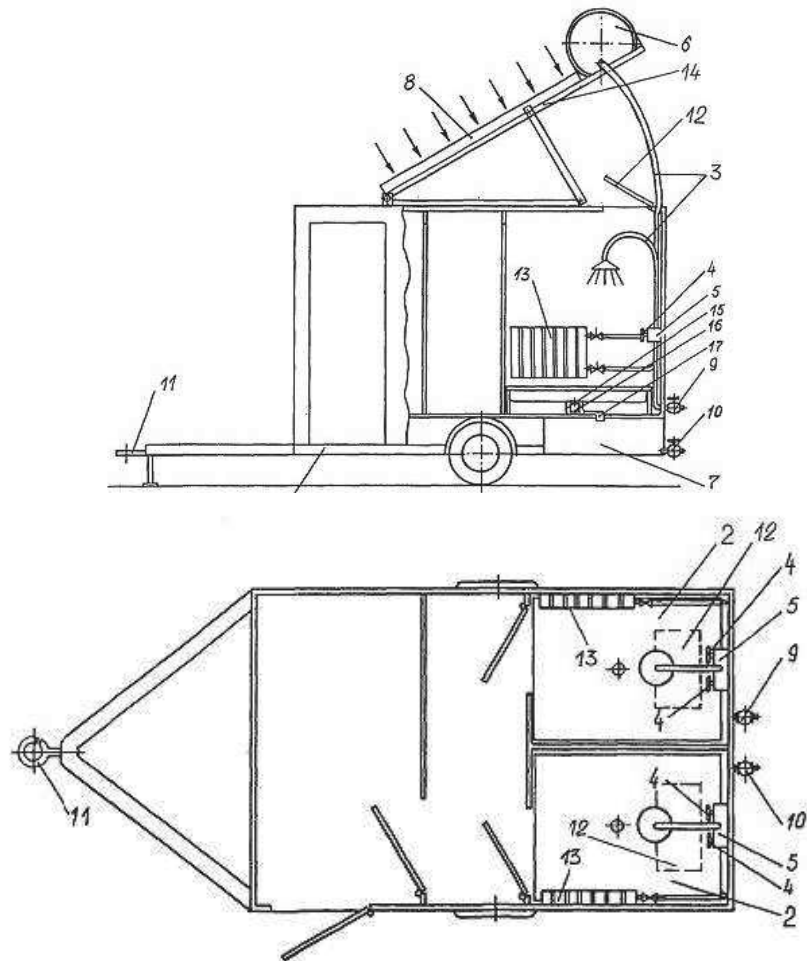


Рисунок 1.2 – Душова мобільна геліоустановка

Найефективнішою вважається геліоколекторна система термосифонного типу, хоча в окремих випадках може застосовуватись циркуляційний насос для інтенсивнішого нагрівання води сонячним випромінюванням.

Відомий пристрій геліоустановки [3] належить до галузі геліотехніки, зокрема — до сонячних теплових колекторів, і може використовуватися у системах гарячого водопостачання житлових будинків, адміністративно-побутових, промислових і сільськогосподарських об'єктів.

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

БРМА 25.00.00.000 ПЗ

Арк.

13

і прозора панелі — герметично поєднані між собою, утворюючи коробчасту конструкцію. По периметру цієї конструкції зверху і знизу встановлені профілі з металу або пластику.

Паралельні металеві трубки, що вмонтовані в лист, розміщені вздовж коротких сторін аркуша і з'єднані між собою трубками, які пролягають уздовж довгих сторін. По периметру між усіма панелями встановлено гумові ущільнювачі. Опорна теплоізолююча панель виготовляється з деревини, фанери, ДСП, пластику чи подібних матеріалів. Шар теплоізоляції може бути зроблений з пінопласту, скловати, мінеральної або базальтової вати чи виробів на їх основі. У зимовий період як теплоносії у трубках теплопоглинальної панелі застосовується суміш води та антифризу в співвідношенні 1:1.

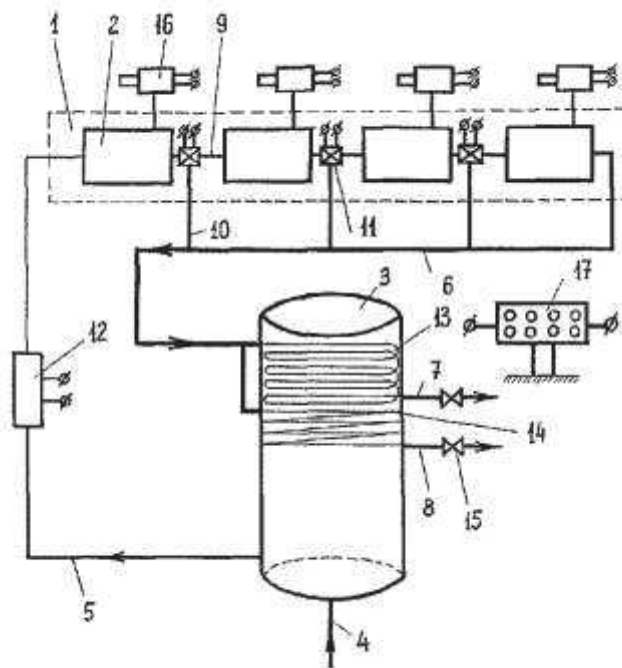


Рисунок 1.3 – Геліоустановка гарячого водопостачання

Геліоустановка включає в свій склад сонячну батарею 1 (рис. 1.3), яка утворена кількома сонячними тепловими колекторами 2, баком-акумулятором 3, трубопроводом 4 для подачі холодної води до бака-акумулятора 3, трубопроводом 5 для транспортування води з бака-акумулятора 3 до сонячної батареї 1,

кою, з'єднаною з електродвигуном. Останній обладнано прямим приводом для відстеження сонця з певним передаточним відношенням та додатковим зворотним приводом для повернення геліоколектора у початкове положення. Передаточне відношення зворотного приводу значно менше за передаточне відношення прямого приводу.

Поворотна рама має вертикальний вал із шестернею, що взаємодіє з іншою шестернею, утворюючи передачу із передаточним відношенням, рівним одиниці. Вона встановлена на основі з замкнутою нерухомою напрямною, по якій рухаються опорні колеса. Колеса з'єднані з нижньою частиною рами через вісі та кронштейни. На верхній частині рами розміщено геліоколектор з покажчиком напрямку сонячного світла, нахилений вал, розташований паралельно геліоколектору, та опорний кронштейн. Нижня частина геліоколектора з'єднана з рамою шарнірно, дозволяючи обертання навколо горизонтальної осі. Нижня частина кронштейна жорстко закріплена, а нижня частина вала нахиленого через два шарніри — з вертикальним валом рами. Верхня частина вала шарнірно приєднана до верхньої частини кронштейна, обладнаного обмежувачем обертання у зворотному напрямку.

Середня частина нахиленого вала містить профільований кулачок зі шкалою, проградуєваною в градусах, регульовальним гвинтом і покажчиком кута піврічного сонцестояння. Ця частина вала може переміщуватись вздовж осі і взаємодіє з опорним роликом, закріпленим на геліоколекторі.

Завдяки такій конструкції геліоколектор автоматично та безперервно стежить за рухом сонця, забезпечуючи оптимальний кут нахилу протягом дня та року. Це дозволяє швидко та точно налаштувати кут нахилу геліоколектора, повертати його у будь-яке положення, а також здійснювати повне керування рухом за допомогою одного електродвигуна. Така система підвищує ефективність геліоустановки та розширює сфери її використання.

Запропонована геліоустановка складається з круглої поворотної рами 1 (рис. 1.4), по периферії якої жорстко закріплено замкнутий ланцюг 2, що взаємодіє із зірочкою 3.

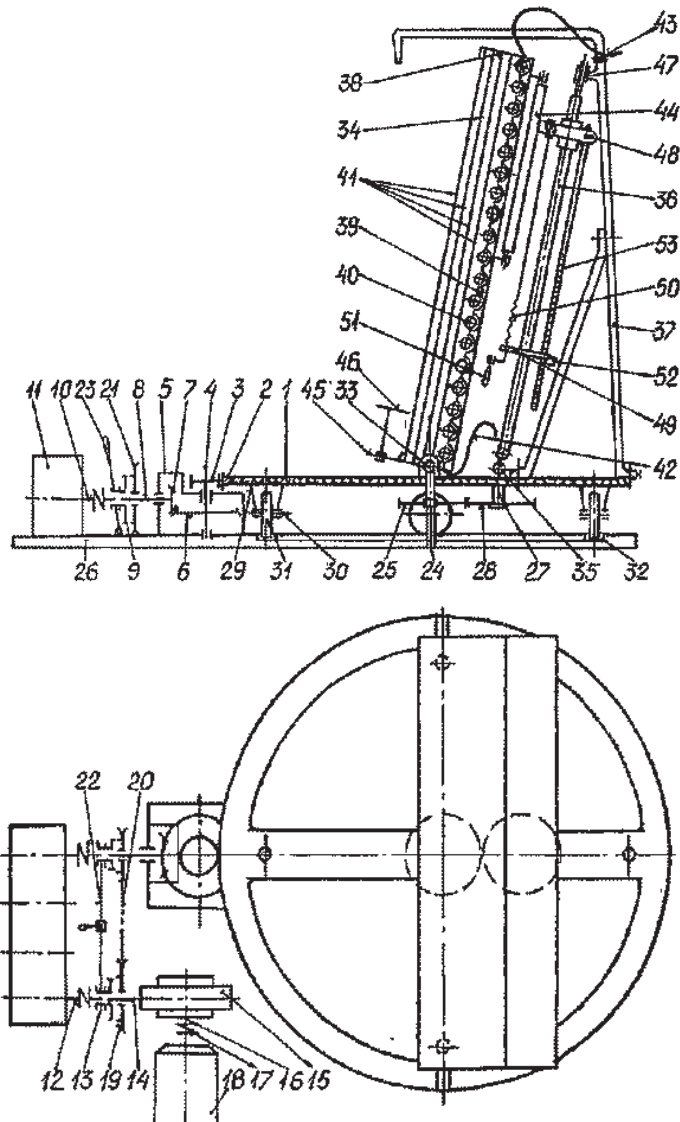


Рисунок 1.4 – Геліоустановка

Зірочка 3 встановлена на вертикальному валу 4, кінцевого редуктора 5 разом із веденою кінцевою шестернею 6, що знаходиться у постійному зачепленні із ведучою шестернею кінцевою 7, закріпленою на вхідному валу 8 цього ж редуктора. Вал 8 з'єднується з вихідним валом 10 триступінчастого редуктора 11 через другу блокувальну муфту 9. Далі, вихідний вал 12 редуктора 11 сполучений із вихідним валом 14 черв'ячного редуктора 15 за допомогою першої блокувальної муфти 13. Вхідний вал 16 черв'ячного редуктора через еластичну муфту 17 з'єднаний з електродвигуном 18.

Уся система — електродвигун 18, муфта 17, вал 16, черв'ячний редуктор 15, вал 14, перша блокувальна муфта 13, вал 12, триступінчастий редуктор 11,

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

БРМА 25.00.00.000 ПЗ

Арк.

19

колектора, забезпечується підвищення коефіцієнта тепловіддачі між сонячним колектором та теплоносієм.

Поставлене завдання реалізується за рахунок того, що сонячна тепла установка, що складається з геліоприймача (сонячного колектора в термоізолюваному корпусі), системи трубопроводів подачі та відведення теплоносія, а також теплоакumuлюючої ємності з підключеними трубопроводами до споживачів, додатково оснащена системою гідравлічного пульсування теплоносія. Ця система підключена безпосередньо до трубопроводів подачі та відведення теплоносія із сонячного колектора, а енергоживлення системи гідравлічного пульсування забезпечується від вітрогенератора, яким додатково обладнано установку.

Завдяки тому, що система гідравлічного пульсування підключена до трубопроводів подачі та відведення теплоносія із сонячного колектора, імпульсний рух теплоносія відбувається виключно у самому колекторі. При цьому циркуляція теплоносія у трубопроводах подачі та відведення здійснюється у ламінарному режимі. Це досягається симетричним підключенням імпульсної системи до геліоприймача, що дозволяє "локалізувати" імпульси у межах колектора та запобігти утворенню гідравлічних ударів у трубопровідній системі.

Сонячна тепла установка включає геліоприймач, що складається з термоізолюваного корпусу 1 (рис. 1.5), сонячного колектора 2, світлового прозорого шару 3 (скло, склопакет або прозора плівка), орієнтованого у напрямку сонячного випромінювання, трубопроводу подачі теплоносія до геліоприймача 4, трубопроводу відведення теплоносія з геліоприймача 5, системи гідравлічного пульсування теплоносія 6, теплоакumuлюючої ємності 7 з підключеним до неї трубопроводом споживання 8, а також вітрогенератора 9.

Сонячна тепла установка працює таким чином. Теплоносій (вода) надходить до корпусу геліоприймача 1 через трубопровід 4, де рівномірно розподіляється по сонячному колектору 2, який нагрівається сонячним випромінюванням, що проходить крізь світлопроникну частину 3. Теплова енергія від поверхні колектора передається через його стінки до теплоносія, що підвищує його температуру.

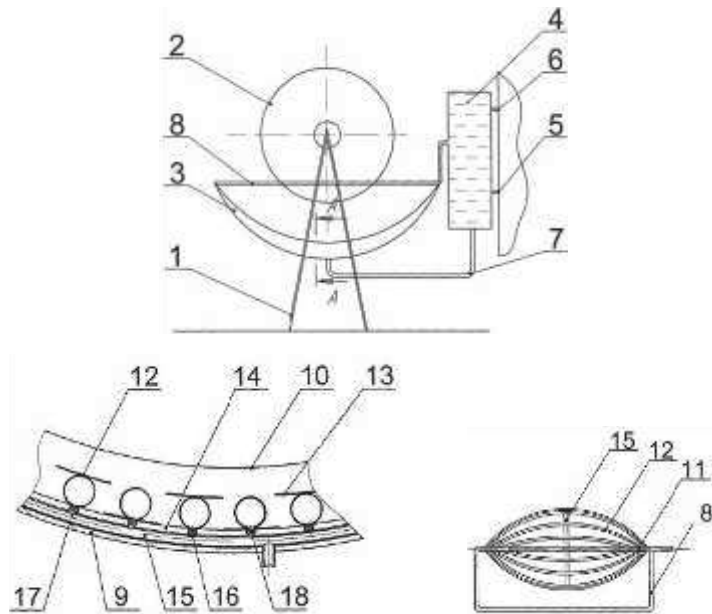


Рисунок 1.6 – Геліоустановка

Геліоустановку використовують наступним чином. Її встановлюють із орієнтацією на південь. Після заповнення бака-акумулятора 4 теплоносієм (наприклад, водою), останній через трубопровід подачі 7, головну трубу подачі 15 і з'єднувальні елементи 18 надходить у труби 12, призначені для його проходу. Протягом світлового дня сфокусоване сонячне випромінювання переміщується вздовж поверхні однієї з труб 12, нагріваючи теплоносіє.

Нагріта рідина з труб 12 надходить у головну трубу відведення теплоносія 11, а звідти – до бака-акумулятора 4, де накопичується у верхній частині. Нагрітий теплоносіє може бути переданий до споживачів через патрубок відведення 6 або залишений у системі для подальшого підігріву. Дозаправлення системи водою здійснюється через патрубок введення 5. Протягом дня, залежно від часу року та географічного розташування, фокус сонячного променя поступово переміщується до інших труб 12, де продовжується нагрів. Застосування цієї геліоустановки дозволяє досягати температур нагріву теплоносія понад 100 °С, що дає змогу перетворювати воду на пару. У цьому випадку головну трубу відведення 11 від'єднують від бака-акумулятора 4 та підключають безпосередньо до споживача пари.

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата
-----	------	---------	--------	------

1.3 Формулювання завдання з проектування водонагрівальної системи

Було проведено огляд та аналіз існуючих водонагрівальних установок, що працюють на основі використання сонячної енергії. На підставі проведеного дослідження можна зробити висновок, що всі геліоустановки для нагріву води мають певні переваги та недоліки.

До основних переваг таких систем належать:

- наявність пристроїв для перекачування води з геліоколектора до бака-акумулятора або водопостачального вузла;
- можливість регулювання кута нахилу та азимуту колекторної поверхні щодо горизонту;
- використання допоміжних елементів для збирання та акумулювання сонячного випромінювання;
- наявність додаткових пристроїв контролю температурного режиму роботи геліоустановки.

Проте в контексті нашої задачі — розробки простої та бюджетної геліоустановки для нагрівання води в умовах приватного або дачного будинку — зазначені переваги водночас можуть вважатися і недоліками.

Залучення допоміжних компонентів конструктивно ускладнює систему та суттєво підвищує її вартість, що економічно невиправдано для побутового використання на присадибних ділянках.

Відтак, метою нашої кваліфікаційної роботи розробка максимально простої за конструкцією нагрівальної установки, яка при цьому відповідатиме основним технічним характеристикам сучасних геліоустановок, представлених на ринку.

Основне удосконалення полягатиме у використанні баку-акумулятора з вбудованим теплообмінником, термореле та електронагрівачами (ТЕНами), які активуватимуться у разі недостатньої тривалості сонячного випромінювання. Установка також буде оснащена запірною арматурою для автоматичного поповнення об'єму теплоносія у баку-акумуляторі.

					<i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						26
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Для виготовлення геліоколектора як поглинаючу поверхню буде використано мідні листи, що мають високу теплопровідність і ефективний коефіцієнт теплопередачі. Для підвищення площі теплового контакту між мідною пластиною та трубками геліоколектора буде застосовано паяння олов'яним припоєм замість зварювання, що дозволить досягти кращої теплопередачі.

Висновок до розділу 1

Було проведено огляд та аналіз існуючих водонагрівальних установок, що працюють на основі використання сонячної енергії. На підставі проведеного дослідження можна зроблено висновок про їх переваги та недоліки. Сформульовано задачу на розробку системи побутового сонячного колектора. Намічені основні кроки для її реалізації.

					<i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						27
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

ть). Узимку ефективність роботи установок зменшується, але не припиняється повністю. Отже, навіть в умовах помірного клімату України, сонячні системи можуть функціонувати протягом усього року, хоча й зі змінною ефективністю.

2.2 Розрахунок та визначення конструктивних характеристик геліоколектора

У джерелі [7] подано розрахункові методики, які дозволяють у динаміці визначати кількість сонячної радіації, що потрапляє на поверхню з довільною орієнтацією у просторі, у будь-який момент часу для конкретного регіону. Ці обчислення ґрунтуються на понятті сонячної константи — кількості енергії, яка досягає Землі від Сонця через космічний простір. Її значення становить 1362Вт/м^2 .

Наведені параметри є розрахунками непрямого характеру, тому ми виконаємо обчислення потоків прямої, розсіяної та сумарної сонячної радіації, які надходять на приймальну поверхню геліоустановки у нашому регіоні. Окрім цього, буде визначено оптимальний кут нахилу геліоколектора для нашої місцевості, а також сезонні зміни кута нахилу в залежності від пори року. Виходячи з отриманих даних, ми визначимо конструктивні характеристики геліоколектора, зокрема площу, необхідну для забезпечення нагріву води в проєктованій геліоустановці.

Для розрахунку оптимальної площі геліоколекторів використовується алгоритм, наведений у графічній частині (БРМА 25.00.00.000 РР). За цим алгоритмом послідовно виконують такі дії:

1. Визначають кількість споживачів гарячої води та орієнтовне добове споживання гарячої води всіма членами родини.
2. Розраховують об'єм бака-акумулятора відповідно до потреби у воді.
3. Обирають бажаний рівень покриття потреб у тепловій енергії за рахунок сонячної енергії.

4. Встановлюють географічний регіон України, де передбачається розміщення установки.
5. Виконують розрахунок оптимального кута нахилу геліоколекторів.
6. Визначають найдоцільнішу орієнтацію геліоколекторів по відношенню до сторін горизонту.
7. Проводять обчислення необхідної площі поверхні геліоколекторів.

2.2.1 Визначення кількості споживачів гарячої води

Розрахунок виконується для умовно середньої родини, що складається з 5 осіб.

Загальний обсяг споживаної гарячої води розраховується за відповідною формулою:

$$m = L \cdot R + n \cdot S, \quad (2.1)$$

де L - кількість осіб, що потребує гарячої води в будинку; $L = 5$ осіб;

R - середня витрата теплої води на одну людину; орієнтовно приймаємо 60 літрів;

n - кількість вторинних споживачів: пральна машина, посудомийка, насоси для побутових потреб; $n = 3$.

S - розхід води на другорядних споживачів, $S = 20$ літрів.

$$m = 5 \cdot 60 + 3 \cdot 20 = 360 \text{ літрів.}$$

Визначаємо кількість тепла на потреби гарячого водопостачання Q , кВт/м².

$$Q = m \cdot \Delta t \cdot c, \quad (2.2)$$

де Δt - різниця температур гарячої і холодної води, $^{\circ}\text{C}$;

$$\Delta t = t_{\text{спож}} - t_{\text{мережі}},$$

$t_{\text{мережі}}$ - температура води, що надходить із водогону у домашню систему, $t_{\text{мережі}} = 15 \text{ }^{\circ}\text{C}$;

$$t_{\text{спож}} - \text{температура споживання води, } t_{\text{спож}} = 55 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

$$\Delta t = 40 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

$$c - \text{питома теплоємність води } 1,163 \text{ Вт}\cdot\text{год}/\text{м}^3 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

$$Q = 360 \cdot 60 \cdot 1,163 = 25,12 \text{ кВт год/день}$$

У перерахунку на рік, потреба у гарячій воді буде склати: $Q_{\text{рік}} = 6093,41$ кВт год/рік.

2.2.2 Визначення об'єму потрібної кількості нагрітої води

На першому етапі об'єм бака-акумулятора приймається таким чином, щоб забезпечити запас гарячої води, еквівалентний 3–4 добовим нормам споживання на одну людину. Тобто:

$$V_{\text{бака}} = 2,5 \cdot R \quad (2.3)$$

$$V_{\text{бака}} = 4 \cdot 60 = 240 \text{ літрів}$$

У подальших розрахунках будемо деталізувати об'єм бака-акумулятора, залежно від площі геліоколектора, а також під час його проєктування з теплообмінником.

Для приблизного розрахунку необхідної площі колекторів можна використувати блок-схему (рис. 2.2).

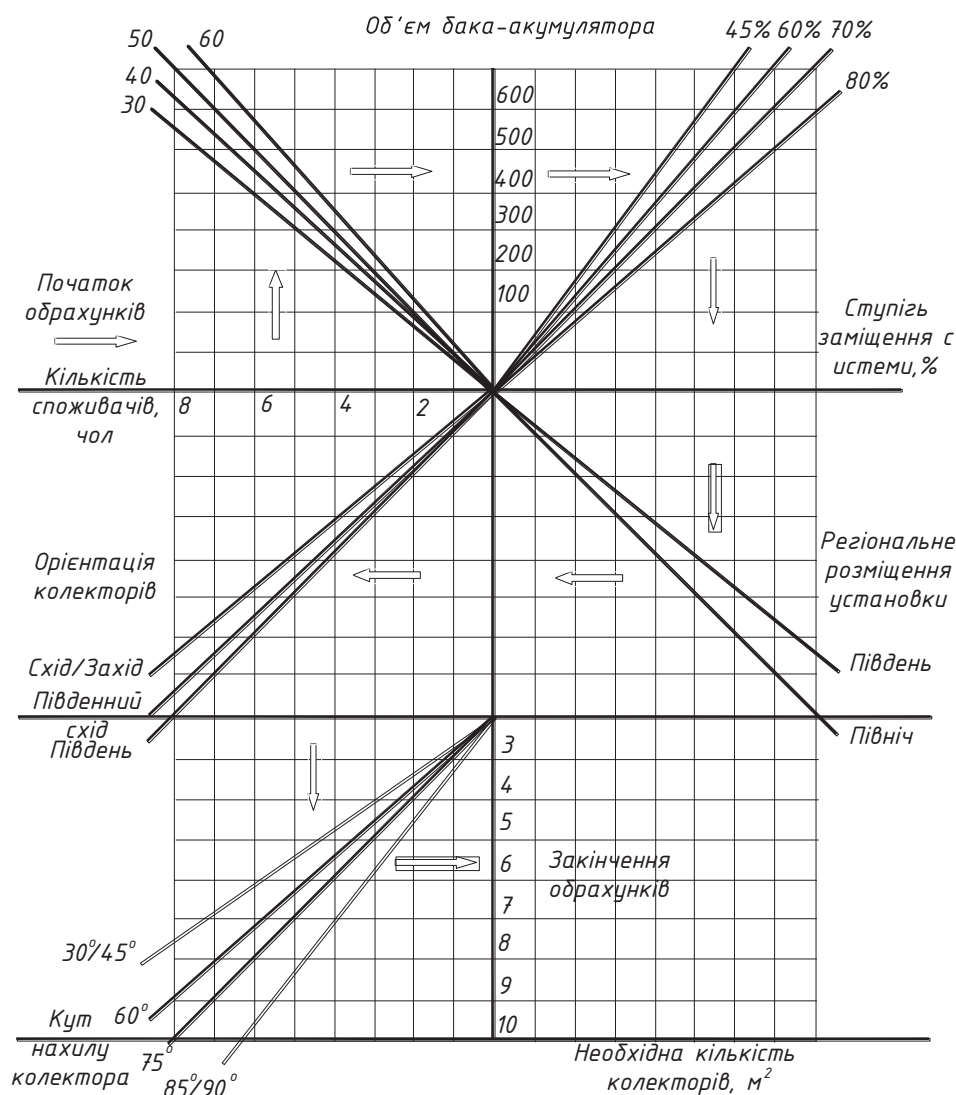


Рисунок 2.2 - Блок-схема розрахунку кількості колекторів

Деталізований розрахунок показаний у наступних розділах пояснювальної записки до кваліфікаційної роботи

Ступінь заміщення енергії за рахунок геліоустановки приймаємо на рівні 50%, оскільки установка використовуватиметься виключно для підігріву води.

Оскільки регіон розміщення установки наближений до південного (зокрема Хмельницька область), коригувальні коефіцієнти, що враховують хмарність, у розрахунках застосовуватись не будуть.

2.2.3 Визначення оптимального кута нахилу геліоколектора та азимутального напрямку встановлення

У наших розрахунках передбачено зміну кута нахилу колектора відносно горизонту, а також азимутального кута розміщення сонячних колекторів. Окрім цього, враховується істинний сонячний час для конкретного регіону, сезон роботи колектора та інші параметри.

Щоб ефективно спроектувати геліосистему для нагріву води, необхідно визначити оптимальну орієнтацію геліоколектора. Зокрема, кут нахилу до горизонту має забезпечувати максимально можливе поглинання як прямого, так і розсіяного сонячного випромінювання, яке потрапляє на його поверхню протягом усього розрахункового періоду експлуатації системи. Цей період може змінюватися — від кількох днів до цілого року — залежно від задачі, з використанням у формулах порядкового номера дня року.

Інсоляція — це потік сонячної енергії, що випромінюється Сонцем рівномірно в усіх напрямках. Частина цього потоку постійно досягає зовнішньої межі атмосфери Землі з потужністю $1,36 \text{ кВт/м}^2$ — це так звана сонячна константа. Під час проходження через атмосферу сонячне випромінювання зменшується через відбиття, розсіювання та поглинання пилом і газами. Частина енергії, яка проходить атмосферу без перешкод і потрапляє безпосередньо на поверхню Землі, називається прямим випромінюванням. Інша частина, що доходить після розсіювання, називається розсіяним випромінюванням. Сума прямого та розсіяного випромінювання утворює сумарне сонячне випромінювання. За сприятливих умов (ясне небо, полудень) воно може досягати до 1000 Вт/м^2 . Завдяки використанню геліоколекторів, залежно від їх типу та розмірів, можна ефективно використовувати приблизно 75% цього сумарного випромінювання.

Загальна інтенсивність сонячного випромінювання, що надходить на по-

хилу поверхню, визначається за відповідною формулою:

$$I = I_t + I_i + I_d \quad (2.1)$$

де I – загальна інтенсивність сонячного випромінювання на похилу площину, Вт/м²;

I_t – інтенсивність випромінювання прямого, Вт/м²;

I_i – інтенсивність дифузного (розсіяного) випромінювання, Вт/м²;

I_d – інтенсивність випромінювання відбитого, Вт/м².

Інтенсивність прямого випромінювання на похилу поверхню розраховується за формулою:

$$I_t = I_{th} \cdot \frac{\cos \alpha}{\cos \gamma}, \quad (2.2)$$

де I_{th} – інтенсивність прямого сонячного випромінювання, що надходить на горизонтальну поверхню землі, Вт/м²;

α – кут падіння прямого сонячного випромінювання, який визначається як кут між напрямком сонячного променя і перпендикуляром (нормаллю) до площини колектора, градусів (див. рис. 2.3); γ – зенітний кут, що характеризує положення сонця на небосхилі, тобто кут між напрямком на сонце і вертикаллю, градусів.

Кут у зеніті визначається за формулою (2.3):

$$\cos \gamma = \sin \delta \cdot \sin \varphi + \cos \delta \cdot \cos \varphi \cdot \cos \psi, \quad (2.3)$$

де φ - широта даної місцевості, тобто для Хмельницького $\varphi = 49^\circ 24'$ град;

δ - кут схилення Сонця, тобто кутове положення Сонця відносно площини земного екватора, град;

ψ - кут годинний, $\cos\psi = -tg\varphi \cdot tg\delta$, град.

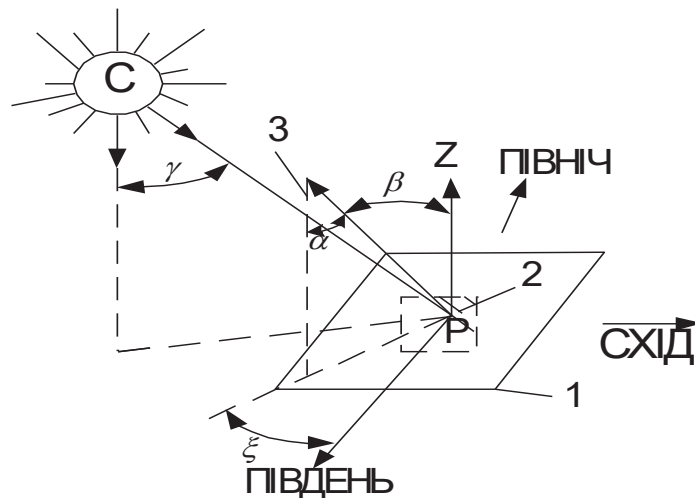


Рисунок 2.3 – Геометричні кути для похилої поверхні відносно сонячного випромінювання: 1 – горизонтальна поверхня; 2 – похила поверхня; 3 – нормаль (перпендикуляр) до похилої площини; β - кут нахилу площини до горизонту; α - кут падіння прямого сонячного випромінювання; γ - кут зенітний; ξ - кут азимутальний площини

Величина нахилу залежить від пори року для якого відбувається обчислення даних параметрів.

Наближено, величину нахилу можна обчислити за формулою:

$$\delta = 23,45 \cdot \sin\left(360 \cdot \frac{284 + n}{365}\right), \quad (2.4)$$

де n - порядковий номер дня року. Тобто n змінюється від 1 до 365.

Величину кута падіння сонячного прямого випромінювання можна визначити по формулі (2.5):

$$\cos \alpha = \sin \delta \cdot \sin \varphi \cdot \cos \beta - \sin \delta \cdot \cos \varphi \cdot \sin \beta \cdot \cos \xi + \cos \delta \cdot \cos \varphi \cdot \cos \beta \cdot \cos \psi + \cos \delta \cdot \sin \varphi \cdot \sin \beta \cdot \cos \xi \cdot \cos \varphi + \cos \delta \cdot \sin \beta \cdot \sin \xi \cdot \sin \psi \quad (2.5)$$

де ξ - азимутальний кут площини — це кут між напрямком на південь (місцевим меридіаном) і нормаллю до площини колектора. Відхилення в бік сходу вважається додатним, а в бік заходу — від'ємним. Величина кута вимірюється в градусах (див. рис. 2.2).

Під час обчислення інтенсивності розсіяного сонячного випромінювання припускаємо, що воно рівномірно розподіляється по всій земній поверхні. У такому випадку величина інтенсивності, яка надходить на похилу площину, буде визначатися лише тією частиною небосхилу, що відкривається перед цією площиною [7].

$$I_i = I_{in} \cdot \frac{1 + \cos \beta}{2}, \quad (2.6)$$

де I_{th} - інтенсивність випромінювання розсіяного променя на поверхні Землі, Вт/м²;

β - кут між горизонтальною поверхнею та розглянутою площиною, град (рис. 2.2).

Інтенсивність відбитого сонячного випромінювання визначається відбивною здатністю поверхні. Припустимо, що відбиття від землі та об'єктів, які на ній розташовані, відбувається рівномірно. У такому разі відбита компонента інтенсивності випромінювання на похилу площину залежатиме від тієї частини поверхні, яка звернена до землі, та від кількості сонячної енергії, яку ця поверхня відбиває [7].

$$I_d = (I_{th} + I_{in}) \cdot \frac{1 - \cos \beta}{2} \cdot \zeta \quad (2.7)$$

де ζ - відбиваюча здатність поверхні; $\zeta = 0,173$

Виходячи з наведених пояснень, повну інтенсивність сонячного випромінювання на похилу площину визначаємо за наступним рівнянням:

$$\begin{aligned}
 I = I_{th} \cdot & \left(\frac{\sin \delta \cdot \sin \varphi \cdot \cos \beta - \sin \delta \cdot \cos \varphi \cdot \sin \beta \cdot \cos \xi + \cos \delta \cdot \cos \varphi \cdot \cos \beta \cdot \cos \psi}{\sin \delta \cdot \sin \varphi + \cos \delta \cdot \cos \varphi \cdot \cos \beta \cdot \cos \psi} \right) + \\
 & + \left(\frac{\cos \delta \cdot \sin \varphi \cdot \sin \beta \cdot \cos \xi \cdot \cos \varphi + \cos \delta \cdot \sin \beta \cdot \sin \xi \cdot \sin \psi}{\sin \delta \cdot \sin \varphi + \cos \delta \cdot \cos \varphi \cdot \cos \beta \cdot \cos \psi} \right) + I_{th} \cdot \left(\frac{1 + \cos \beta}{2} \right) + \\
 & + (I_{th} + I_{th}) \cdot \left(\frac{1 - \cos \beta}{2} \right) \zeta \quad (2.8)
 \end{aligned}$$

При застосовуванні сонячних установок для підігріву води, практичний інтерес становлять системи двох типів. До першого типу належать установки, що складаються з кількох робочих поверхонь, які розміщені симетрично (наприклад, на двосхилих дахах). До другого типу відносяться установки з однією робочою поверхнею, що зазвичай розташовується з одного боку даху.

Почнемо з розрахунків для установок першого типу. Для зручності припустимо, що система має чотири робочі площини, по дві на кожному схилі даху, розташовані симетрично. Нескладно встановити, що їхній азимутальний кут становитиме:

$$\xi_1 = \xi_2 = \xi_3. \quad (2.9)$$

Для інших поверхонь:

$$\xi_3 = \xi_4 = \xi + 180^\circ \quad (2.10)$$

Визначимо оптимальне значення азимутального кута, за якого сонячна установка отримає максимальну кількість сонячної енергії. Повна інтенсивність випромінювання, що сприймається установкою, яка складається з чотирьох орієнтованих поверхонь, обчислюється як:

$$I_n = \sum_{i=1}^n I_i, \quad (2.11)$$

де I_i - повна інтенсивність випромінювання, що сприймається кожною окремою поверхнею, Вт/м²;

I_n - інтенсивність випромінювання, яка припадає на всю установку, Вт/м².

Для визначення оптимального значення азимутального кута, необхідно прирівняти до нуля першу частинну похідну від рівняння (2.10) [7]:

$$\frac{dI_n}{d\xi} = 0 \quad (2.12)$$

Зауважимо, що для отримання оптимального азимутального кута слід розглянути два випадки орієнтування сонячних систем відповідно до рівностей (2.9) і (2.10).

Розв'язуючи рівняння (2.8) разом з (2.12), отримаємо:

$$\frac{dI_n}{d\xi} \equiv 0 \quad (2.13)$$

Це значить, що сонячна система, робочі поверхні котрої розташовані симетрично, може бути повернута відносної Земної поверхні бездовідним чином. Тоді $\xi = 90^\circ$.

Для знаходження оптимального кута нахилу робочих поверхонь прирівнюємо до нуля похідну по такому виразу:

$$\frac{dI_n}{d\beta} = 0. \quad (2.14)$$

Розв'язуючи рівняння (2.14) разом із (2.8) і (2.9, 2.10), отримаємо:

$$\operatorname{arctg}\beta = \frac{1}{\left[1 + \frac{1}{2}(k - \zeta - k\zeta)\right] \cdot \left(\frac{\sin \delta \cdot \sin \varphi}{\cos \psi_0} + \cos \delta \cdot \cos \varphi\right)}, \quad (2.15)$$

де ψ_0 - сонячний час, при котрому сонячна система отримує найбільшу кількість сонячної енергії, град;

k - відношення інтенсивності розсіяного та прямого випромінювання.

Розрахунок сонячних систем другого типу здійснюється аналогічно. Розрахуємо оптимальний кут азимутальний. Розв'язуючи рівняння (2.15), у якому $k = 1$, разом з (2.8), отримаємо:

$$\operatorname{tg}\beta = \frac{\cos \delta \cdot \sin \psi}{\cos \delta \cdot \sin \varphi \cdot \cos \psi - \sin \delta \cdot \cos \varphi}. \quad (2.16)$$

Визначаємо оптимальний кут нахилення системи:

$$\operatorname{arctg}\beta = \frac{\operatorname{tg}(\varphi - \delta + \psi_0)}{1 + \frac{1}{2}(k - \zeta - k\zeta)}. \quad (2.17)$$

Обчислимо цей кут для найбільш інтенсивного за сонячним випромінюванням сонячного дня року, це 22 червня, $n = 173$.

$$\delta = 23,45 \cdot \sin\left(360 \cdot \frac{284 + 173}{365}\right) = 17,74^\circ.$$

Підставляючи отримані дані у формулу (2.17) обрахуємо кут:

$$\beta = \arctg \frac{tg(49,2 - 17,7 + 114)}{1 + \frac{1}{2}(1 - 0,28 - 1 \cdot 0,28)} = 18,3^\circ.$$

Як видно з кінцевої формули для визначення кута нахилу колектора, цей кут змінюється залежно від широти місцевості, кута схилення Сонця, порядкового номера дня в році, для якого проводяться розрахунки, а також істинного сонячного часу.

Підставивши у формулу (2.17) необхідні астрономічні параметри [7] та використавши електронні таблиці редактора OpenOffice Calc, визначимо значення кута нахилу колектора для кожного місяця року. Отримані результати занесемо до таблиці 2.1, а також побудуємо графік залежності оптимального кута нахилу від місяця року (рис. 2.4).

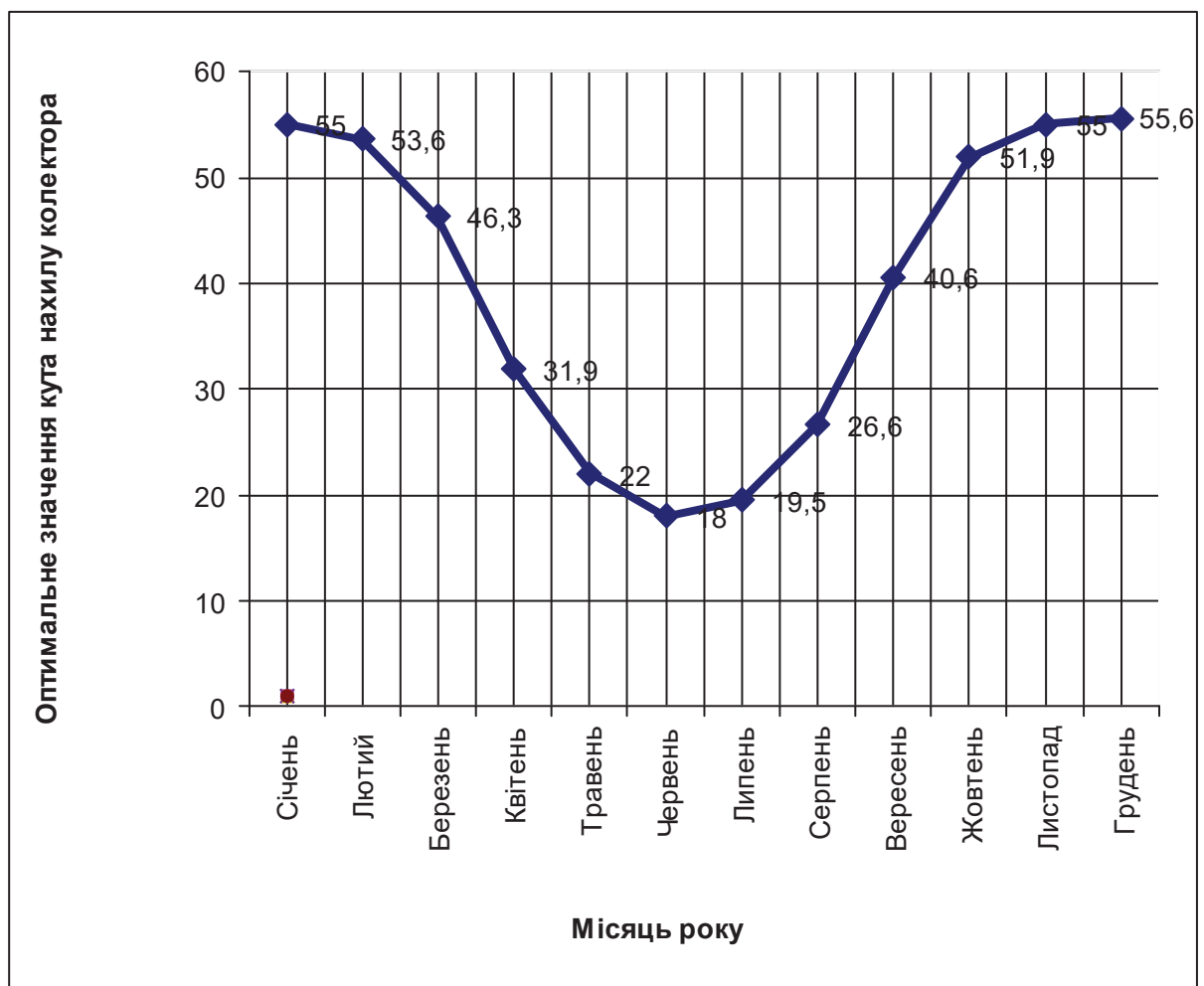


Рисунок 2.4 – Графік залежності оптимального кута нахилу від місяця року

Для визначення максимально можливого надходження сонячного випромінювання на похилу площину підставимо відповідні значення у формулу (2.8) та впишемо результати до таблиці 2.1.

Як приклад, розглянемо обчислення сумарної сонячної радіації для 22 червня. Годинний кут для цієї дати становитиме:

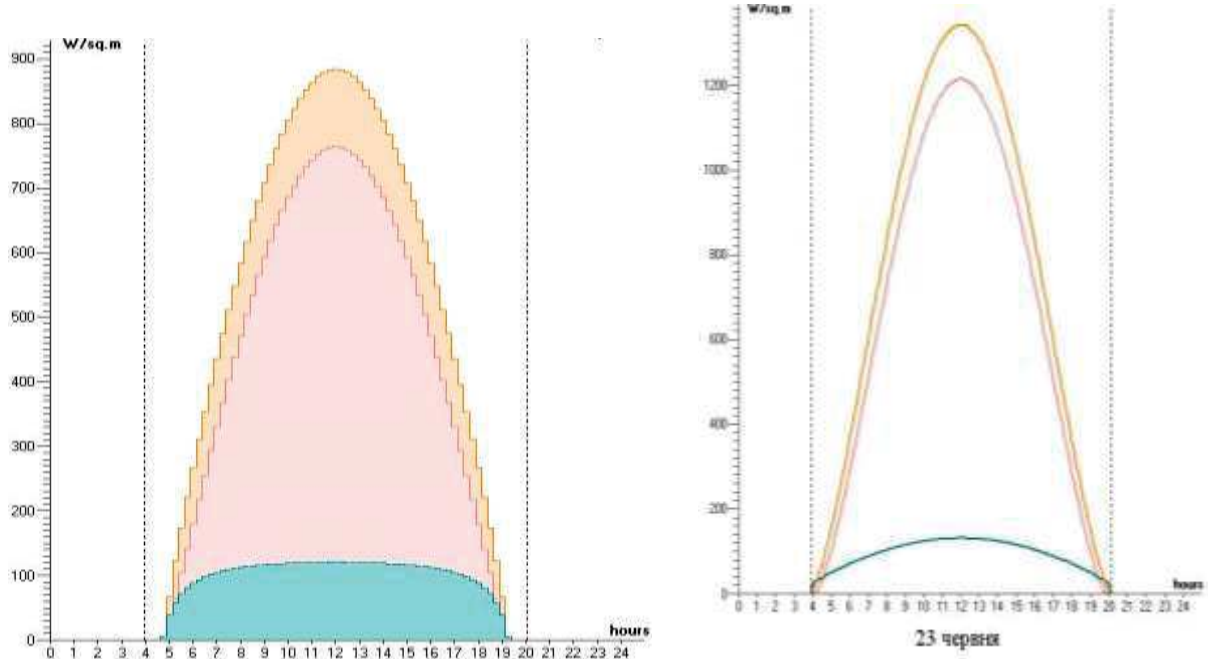
$$:\psi = \arccos(-\operatorname{tg}49,2 \cdot \operatorname{tg}17,7) = 114^\circ$$

$$I = 5,92 \cdot \left(\left(\frac{\sin 17,7 \cdot \sin 49,2 \cdot \cos 18,3 - \sin 17,7 \cdot \cos 49,2 \cdot \sin 18,3 \cdot \cos 0}{\sin 17,7 \cdot \sin 49,2 + \cos 17,7 \cdot \cos 49,2 \cdot \cos 18,3 \cdot \cos 114} + \frac{\cos 17,7 \cdot \cos 49,2 \cdot \cos 18,3 \cdot \cos 114}{\sin 17,7 \cdot \sin 49,2 + \cos 17,7 \cdot \cos 49,2 \cdot \cos 18,3 \cdot \cos 114} \right) + \left(\frac{\cos 17,7 \cdot \sin 49,2 \cdot \sin 18,3 \cdot \cos 0 \cdot \cos 49,2 + \cos 17,7 \cdot \sin 18,3 \cdot \sin 0 \cdot \sin 114}{\sin 17,7 \cdot \sin 49,2 + \cos 17,7 \cdot \cos 49,2 \cdot \cos 18,3 \cdot \cos 114} \right) \right) + 1,92 \cdot \left(\frac{1 + \cos 18,3}{2} \right) + (5,92 + 1,92) \cdot \left(\frac{1 - \cos 18,3}{2} \right) \cdot 0,27 = 6,87 \text{ кВт год/м}^2 \text{ добу}$$

Таблиця 2.1 – Визначення оптимальних параметрів геліоколектора

Місяць року α	Сумарна сонячна радіація I , кВт·од/м ² /добу α	Оптимальний кут нахилу <u>теліоколектора</u> , β α
Січень α	1,06 α	55,0 α
Лютий α	1,9 α	53,6 α
Березень α	3,27 α	46,3 α
Квітень α	4,55 α	31,9 α
Травень α	6,08 α	22,0 α
Червень α	6,7 α	18,0 α
Липень α	6,87 α	19,5 α
Серпень α	5,69 α	26,6 α
Вересень α	4,49 α	40,6 α
Жовтень α	2,62 α	51,9 α
Листопад α	1,03 α	55,0 α
Грудень α	0,75 α	55,6 α

Для аналізу зміни інтенсивності сонячного випромінювання на похилу поверхню протягом дня скористаємося програмним забезпеченням NeoHeatingPro [8]. Задавши відомі астрономічні параметри [7], отримаємо графіки залежності надходження сонячної енергії для трьох обраних місяців — січня, червня та жовтня (див. рис. 2.5).



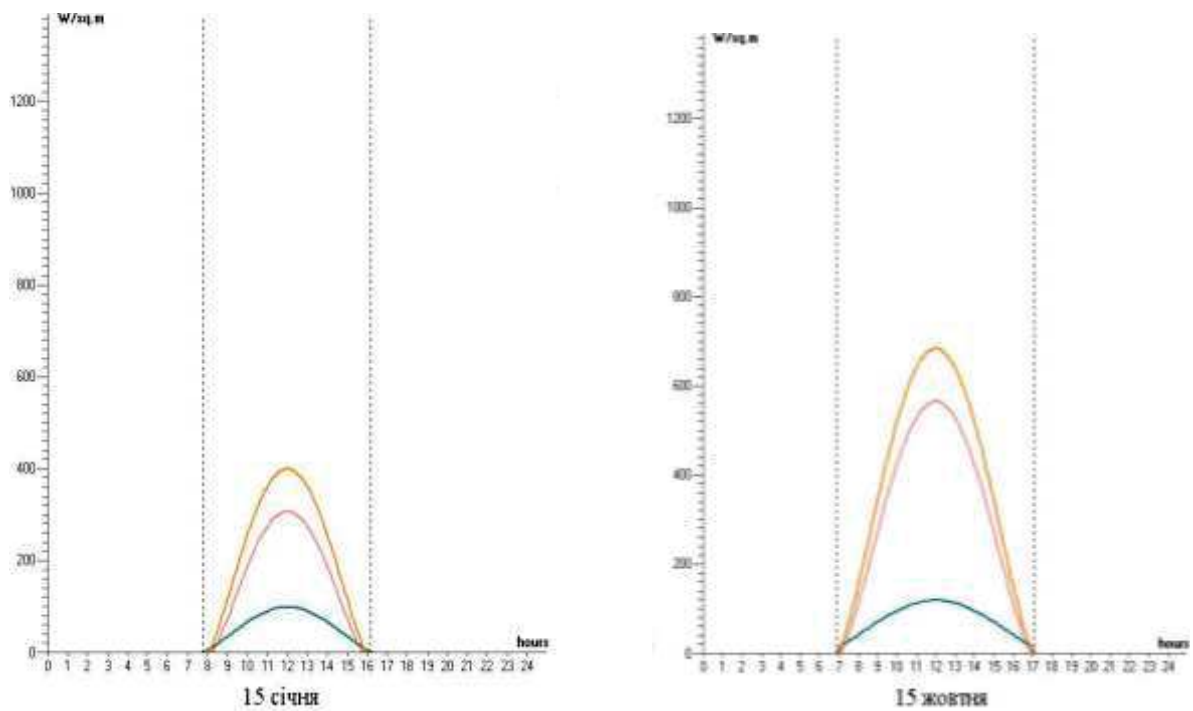


Рисунок 2.5 – Графік надходження випромінювання на похилу поверхню системи панелей протягом дня

У програмному середовищі NeoHeatingPro реалізовано алгоритм, який забезпечує динамічне моделювання змін кількості сонячної енергії, що поглинається колектором залежно від ряду параметрів. Зокрема, враховується час (день року та година доби), просторове розташування колектора (кут нахилу до горизонту та орієнтація відносно півдня), а також географічна широта місцевості. Програма функціонує в онлайн-режимі через мережу Internet.

2.2.4 Визначення площі геліоколектора системи для нагрівання води

Площа поверхні F геліоколекторів системи визначається за формулою:

$$F = \frac{m}{\sum g_i} \quad (2.18)$$

де m - добова витрата гарячої води в системі гарячого водопостачання,

приймається за ДБН В.2.5-64:2012 [10]; $m = 60$ літрів;

g_i - годинна теплова продуктивність установки, приведена до 1 м^2 площі сонячного колектора, $\text{кг}/\text{м}^2$;

i - кількість розрахункових годин роботи сонячної установки протягом доби.

Продуктивність системи за годину визначається за формулою:

$$g_i = \frac{0,86U}{\ln \frac{t_{\max i} - t_1}{t_{\max i} - t_2}}, \quad (2.19)$$

де U - наведений коефіцієнт тепловтрат сонячного колектора. Прийнятий: $8 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \text{ (К)})$ - для одноклових колекторів, $5 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \text{ (К)})$ - для двосклових;

t_1, t_2 - температура теплоносія (етиленгліколь) на вході та на виході сонячного колектора, $^{\circ}\text{C}$.

Температура t_2 на вході у геліоколектор визначається за формулою:

$$t_2 = t_{w2} + 5, \quad (2.20)$$

де t_{w2} - температура гарячої води, $t_{w2} = 55 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

$$t_2 = 55 + 5 = 60 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Температура на вході у геліоколектор визначається за формулою:

$$t_1 = t_{w2} + 5, \quad (2.21)$$

$$t_1 = 15 + 5 = 20 \text{ }^{\circ}\text{C},$$

де t_{w1} - температура холодної води, $t_{w1} = 15 \text{ }^\circ\text{C}$.

В одноконтурних системах для отримання гарячої води температури відповідно рівні: $t_1 = t_{w1}$ і $t_2 = t_{w2}$.

Гранична температура за кожну годину $t_{\max i}$ визначається за формулою:

$$t_{\max i} = \frac{I}{U + t_{н.с}}, \quad (2.22)$$

де I - питома приведена інтенсивність поглиненої сонячної радіації. Вибираємо із таблиці 2.1 опосередковане значення $3,27 \text{ кВт год/м}^2 \text{ день}$ або $1,68 \text{ кВт/м}^2$.

$t_{н.с}$ - температура довколишнього середовища, $t_{н.с} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$.

$$t_{\max i} = \frac{1,68}{8 + 20} = 60 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Підставимо відповідні значення у формулу (2.19) та отримаємо значення:

$$g_i = \frac{0,86 \cdot 8}{\ln \frac{60 - 15}{60 - 55}} = 4,86 \text{ кг/м}^2.$$

Підставивши значення у (2.18) отримаємо кінцеве значення для площі геліопанелі:

$$F = \frac{60}{4,86 \cdot 7} = 1,76 \text{ м}^2.$$

Потужність геліоустановки в цілому визначається за формулою:

$$P = Q \cdot F \cdot k, \quad (2.24)$$

					БРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						46
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Висновки до розділу 2.

У цьому розділі було проаналізовано перспективи і доцільності впровадження геліосистем в умовах України. Запропоновано конструкцію геліосистеми нагріву води для побутових потреб на базі плоского колектора. Зроблено розрахунок та визначено конструктивних характеристик геліоколектора. Визначено кількість споживачів та встановлено об'єм потрібної кількості нагрітої води. Визначено оптимальний кута нахилу геліоколектора та азимутального напрямку встановлення та визначено площу геліоколектора системи для нагрівання води.

					<i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						48
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

3 Розроблення конструкції геліосистеми для нагрівання води для побутових потреб

3.1 Призначення та опис основних елементів геліосистеми

Геліоколектор — це пристрій, призначений для поглинання сонячної енергії, що передається видимим та ближнім інфрачервоним випромінюванням, і подальшого її перетворення у теплову енергію, придатну до використання. Геліустановка слугує для трансформації сонячної енергії в тепло з метою нагрівання води.

До складу геліоколекторної установки входять такі основні елементи: сам геліоколектор, бак-акумулятор для зберігання нагрітої води, теплообмінник, з'єднувальні трубопроводи та рама для монтажу панелі геліоколектора (БРМА 25.00.00.000 МК).

Незалежно від конкретного конструктивного виконання, основними завданнями під час створення колектора є такі:

- досягнення максимальної ефективності теплопоглинальної поверхні;
- застосування оптимальних засобів для швидкої та рівномірної передачі тепла до потоку води;
- забезпечення стабільного та рівномірного розподілу води всередині колектора;
- забезпечення надійної роботи установки при невисокій вартості.

Під час розробки сонячного водонагрівача було враховано кілька добре відомих фізичних принципів. Так, для самого нагрівача використано парниковий ефект — здатність сонячних променів вільно проникати крізь прозоре середовище в замкнутий простір із подальшим перетворенням їх у теплову енергію. У гідравлічній частині системи реалізується термосифонний ефект, який полягає у властивості нагрітої рідини підніматися вгору, витісняючи холодну воду та спричиняючи її циркуляцію до зони нагріву.

інші два кінці заглушені. До нагрівальних трубок припаюється мідна стрічка за-
втовшки 0,8 мм.

На виготовлення повної конструкції сонячної панелі було використано:

- 20 трійників,
- 8 метрів труби діаметром 15 мм,
- 3 метри труби діаметром 18 мм,
- 2 заглушки,
- 2 перехідні муфти.

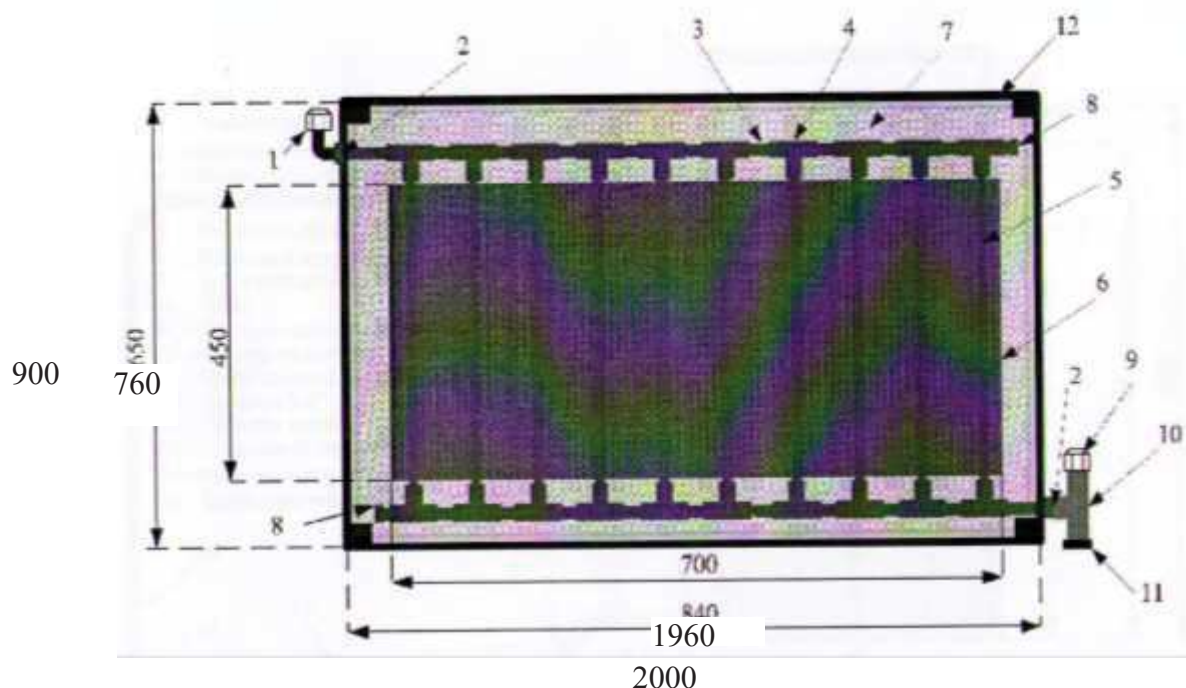


Рисунок 3.2 - Конструкція сонячної плоского сонячного колектора:

1 – кутовий перехідник \varnothing 20 мм; 2 – прямий перехідник \varnothing 18 мм; 3 - тру-
ба мідна \varnothing 18 мм; 4 - трійники \varnothing 18 мм на \varnothing 15 мм; 5 – труба мідна \varnothing 15 мм;
6 – лист мідний (товщина 0,8 мм); 7 – утеплювач колектора (товщина 50
мм); 8 – мідна заглушка \varnothing 18 мм; 9 – прямий перехідник \varnothing 20 мм; 10 – трійник
 $\frac{3}{4}$ ``; 11- заглушка $\frac{3}{4}$ ``; 12 – корпус колектора

Гідравлічна ілюстраційна схема на рисунку 3.3. показує процес теплооб-
міну в колекторі та геліустановці.

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

БРМА 25.00.00.000 ПЗ

Арк.

51

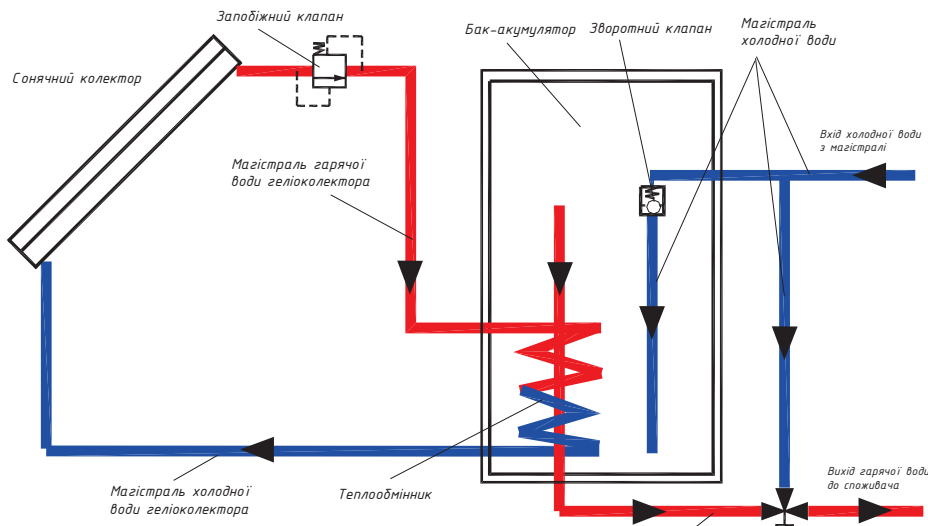


Рисунок 3.3 – Схема геліоустановки (процес теплообміну)

Схема геліоустановки показана на рис. 3.4.

Система складається з бака-акумулятора, об'єм якого становить 240 літрів. Висота водяного стовпа в ньому має бути 1200 мм. Загальна висота корпусу бака – 1400 мм, а його діаметр – 500 мм. Такий об'єм бака-акумулятора дозволяє зберігати запас гарячої води на два-три дні для потреб однієї сім'ї. Бак розміщено поблизу колектора, що дозволяє мінімізувати довжину з'єднувальних труб і патрубків.

Для збереження тепла бак обгорнутий у два шари мінеральної вати завтовшки 50 мм. Поверх теплоізоляції укладено два шари гідроізоляційної тканини, які зафіксовані дротом.

Днище бака розташоване щонайменше на 300 мм вище за верхню частину колектора. Таке компонування дає змогу уникнути потреби у додатковому джерелі енергії для циркуляції води, оскільки в системі працює природна конвекція. Після нагрівання вода в колекторі розширюється, її щільність зменшується, і вона піднімається вгору, звідки через трубопровід потрапляє у верхню частину бака-акумулятора. У той же час прохолодніша вода, яка залишається в нижній частині бака, переміщується донизу в колектор, де вона знову нагрівається. Такий процес циркуляції триває, поки є сонячне світло.

Підняте розташування бака також запобігає зворотній циркуляції вночі,

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

коли теплоносій у колекторі охолоджується: холодна вода залишається на дні колектора, а тепла – у верхній частині бака.

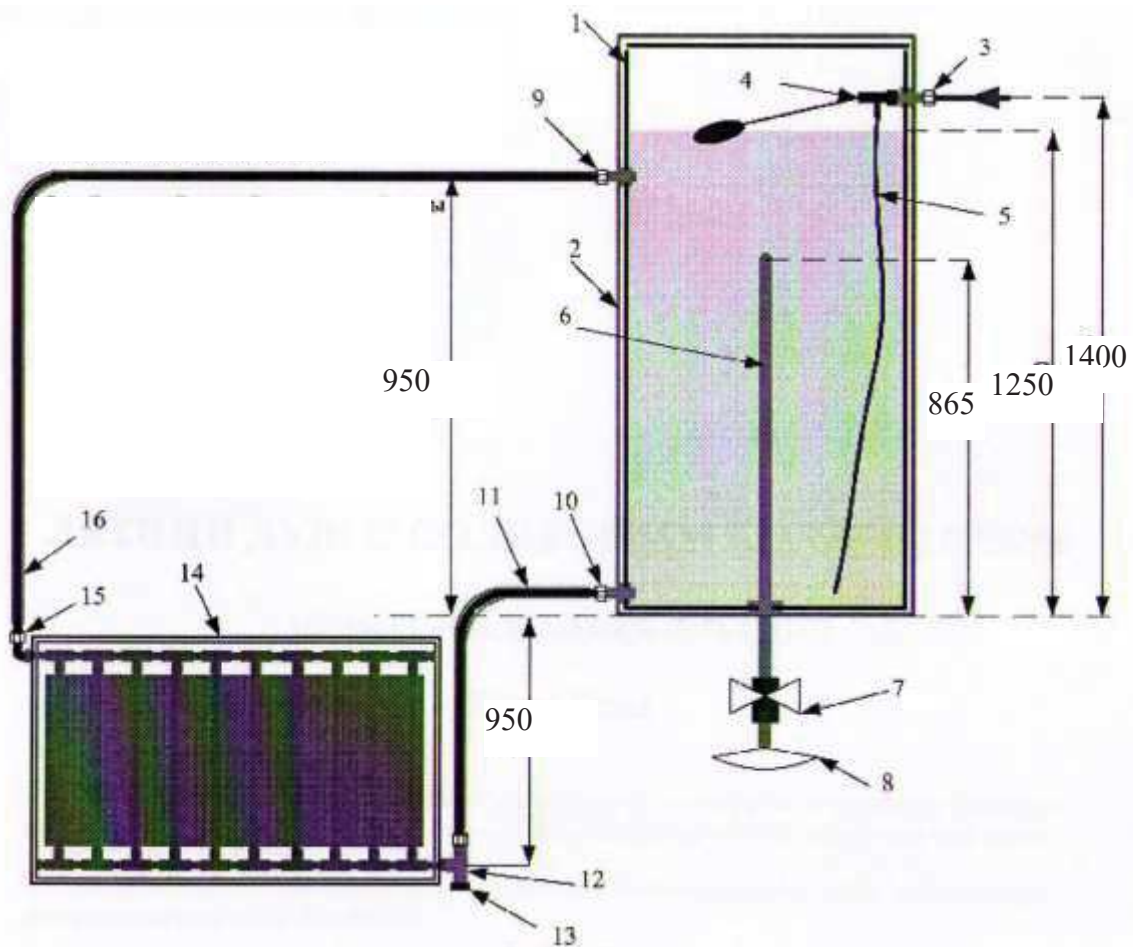


Рисунок 3.4 - Схема геліоустановки з плоским колектором:

1 – бак-аккумулятор; 2 – теплоізоляція; 3 – штуцер підведення холодної води; 4 – клапан автоматичний; 5 – вихідний патрубок живильної води; 6 – вихідний патрубок гарячої води; 7 – запірний клапан; 8 – лійка; 9 – штуцер підводу води до системи; 10 – з'єднувальний штуцер подачі холодної води; 11 – труба підведення холодної води; 12 – трійник колектора; 13 – зливна запобіжна пробка; 14 – сонячний колектор; 15 – вихідний штуцер колектора; 16 – труба виходу гарячої води

Для автоматичної подачі холодної води з мережі використовується поплавковий клапан, аналогічний до тих, що встановлюються в унітазах. На вихідний патрубок клапана одягається пластикова трубка, яка подає холодну воду на дно

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

БРМА 25.00.00.000 ПЗ

Арк.

53

бака-акумулятора. Під час водозабору холодна вода надходить униз бака, витісняючи нагріту воду вгору, до патрубку, з якого вона подається споживачеві.

Штуцери на баку мають довжину 100–150 мм. Для підключення сонячного колектора застосовуються згони $\frac{3}{4}$ " , а для підведення холодної води – штуцер на $\frac{1}{2}$ " .

Трубопроводи, які з'єднують колектор з баком-акумулятором, повинні мати якісну теплоізоляцію та забезпечувати мінімальний опір циркуляції. Ізоляція труб дозволяє зберегти тепло, яке надходить від колектора, а також підтримувати температурну різницю між вхідною та вихідною водою, що необхідно для ефективної дії термосифонного ефекту.

Важливе значення має розміщення колектора відносно бака-акумулятора, а також правильне під'єднання вхідних і вихідних труб.

Труба, яка подає холодну воду в нижню частину колектора, повинна забирати її з найхолоднішої, нижньої частини бака. Водночас нагріта в колекторі вода повинна надходити у верхню, найтеплішу частину бака. Вище за точку відбору гарячої води необхідно залишити резервний об'єм для зберігання гарячої води приблизно на півдобу, адже вода, що в певний момент надходить з колектора (наприклад, у похмурий день чи рано вранці), може мати недостатню температуру і не повинна змішуватися з вже нагрітою водою.

У разі використання додаткового джерела нагріву, наприклад занурюваного електричного водонагрівача, його слід встановлювати нижче рівня добового об'єму води в баку. Це дозволяє підігрівати лише необхідну кількість води.

Установлення бака всередині приміщення має додаткові переваги: крім зниження потреби в теплоізоляції, будь-які втрати тепла будуть спрямовані в опалюване приміщення, а не в зовнішнє середовище.

3.3 Тепловий розрахунок змієвикового теплообмінника

Середню температурну різницю між розчином і охолоджувальною водою визначають як логарифмічну середню температуру:

					<i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						54
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

$$\Delta t_c = \frac{\Delta t_{\delta} - \Delta t_m}{2,3 \lg \frac{\Delta t_{\delta}}{\Delta t_m}}; \quad (3.1)$$

де Δt_{δ} , Δt_m - відповідно різниці температур між теплоносіями на виходах з теплообмінника;

$$\Delta t_{\delta} = t'_p - t''_e; \quad \Delta t_m = t''_p - t'_e; \quad (3.2)$$

$$\Delta t_{\delta} = 80 - 55 = 25^{\circ}\text{C};$$

$$\Delta t_m = 30 - 15 = 20^{\circ}\text{C}.$$

$$\Delta t_c = \frac{4-2}{2,3 \lg \frac{4}{2}} = 20^{\circ}\text{C};$$

Середня температура рідини, що виходить з колектора:

$$t_c = 0,5 \cdot (t'_c + t''_c) = 0,5 \cdot (80 + 30) = 95^{\circ}\text{C} \quad (3.3)$$

При середній температурі t_c визначаємо теплофізичні параметри розчину): [11]: в'язкість $\mu = 4,45 \cdot 10^{-3} \text{Па} \cdot \text{с}$; питому густину спирту $\rho = 789 \text{кг/м}^3$; теплоємність $C = 3,1 \text{кДж/кг} \cdot \text{К}$; $\lambda = 1,6 \cdot 10^4 \text{кВт/м} \cdot \text{К}$ - коефіцієнт теплопровідності рідини (теплоносія).

Визначаємо відповідні величини, підставивши числові значення у формули:

Коефіцієнт k визначаємо [11] методом інтерполяції при $CP = 33\%$:

$$k = 0,834 + \frac{0,777 - 0,834}{10} * 3 = 0,817.$$

$$\lambda = 0,817 \cdot 0,622 \cdot (1 - 556 \cdot 10^{-5} \cdot 33,0) = 0,414 \text{Вт/(м} \cdot \text{К)}.$$

						<i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк. 55
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата			

$$\text{Pr} = \frac{c\mu}{\lambda} \quad (3.4)$$

$$\text{Pr} = \frac{3440,1 \cdot 2,84 \cdot 10^{-3}}{0,414} = 23,6.$$

Теплове навантаження із урахуванням теплових витрат:

$$Q = x G c_c (t'_c - t''_c), \text{ Вт} \quad (3.5)$$

де x – коефіцієнт, що враховує втрати теплоти в навколишнє середовище; $x=0,95 \div 0,97$, приймаємо $x=0,95$; G – витрата розчину, кг/с; $G=0,1$ кг/с; $C=3100,1$ Дж/(кг К).

$$Q = 0,95 \cdot 0,5 \cdot 344,1 \cdot (80 - 30) = 3921,74 \text{ Дж/с.}$$

Витрата холодної води для колектора, кг/с:

$$G = \frac{G_p \cdot c_p (t'_p - t''_p)}{c_v (t''_v - t'_v)} \quad (3.6)$$

де G – вага теплоносія, кг/с; c_v, c_p – питомі теплоємності відповідно охолодної води і теплої води, кДж/(кг*К); $c_v = 4,2$ кДж/кг*К; $c_p = 3,1$ кДж/кг*К; t'_v, t'_p – відповідно початкова температура охолодної води і розчину розчину, °С; t''_v, t''_p – кінцеві температури відповідно охолодної води і теплої води з колектора, °С.

$$G = \frac{0,5 \cdot 3,1 \cdot (80 - 30)}{4,2 \cdot (55 - 15)} = 0,25 \text{ кг/с.}$$

Загальний коефіцієнт теплопередачі K_0 визначаємо за формулою:

					<i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк. 56
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

$$K_0 = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda_{cm}} + \frac{1}{\alpha_2}}; \quad (3.7)$$

де α_1 - коефіцієнт тепловіддачі від води до стінки колектора, Вт/(м² К); δ - товщина стінки колектора, мм; $\delta = 1$ мм; λ_{cm} - теплопровідність теплоізоляції стінки, Вт/(м К) [11];

Приймаємо, що матеріал трубок колектора це мідь; теплопровідність міді $\lambda_{cm} = 390$ Вт/(м*К); α_2 - коефіцієнт тепловіддачі від мідної стінки до рідини (води), Вт/(м²*К);

Коефіцієнт тепловіддачі α_2 визначається залежно від характеру руху теплового розчину, тобто від гідродинамічного режиму потоку.

Для цього спочатку обчислюємо критерій Рейнольдса (Re), який описує режим течії рідини, за наступною формулою:

$$Re = \frac{w \cdot d_e \cdot \rho}{\mu}, \quad (3.8)$$

де d_e – діаметр трубопроводу (або гідравлічний діаметр каналу), м; $d = 0,018$ м; w – середня швидкість потоку, м/с; ν – кінематична в'язкість розчину, м²/с.

Приймаємо швидкість руху потоку розчину теплоносія $w = 0,1$ м/с:

$$Re_1 = \frac{0,6 \cdot 0,018 \cdot 1137,7}{2,84 \cdot 10^{-3}} = 7210.$$

Оскільки число Рейнольдса знаходиться у межах від $2320 < Re < 10000$, тоді, коефіцієнт Нульсена буде:

$$Nu = 0,008 \cdot Re^{0,9} \cdot Pr^{0,43} \cdot \left(\frac{Pr}{Pr_{cm}}\right)^{0,25}. \quad (3.9)$$

Поправка $\left(\frac{Pr}{Pr_{cm}}\right)^{0,25}$, що враховує напрямок теплового потоку майже не відрізняється від одиниці.

Тому будемо вважати, що вона буде дорівнювати одиниці.

$$Nu_1 = 0,008 \cdot 7210^{0,9} \cdot 23,6^{0,43} \cdot 1 = 0,008 \cdot 2965,8 \cdot 3,89 = 92,3$$

За знайденою величиною коефіцієнта Нульсена Nu_1 :

$$\alpha_2 = \frac{Nu \cdot \lambda}{d_e}, \quad (3.10)$$

де d_e - внутрішній діаметр трубки, мм; $d_e = 17$ мм; λ - коефіцієнт теплопровідності матеріалу (розчину); $\lambda = 0,414$ Вт/(м·К).

$$\alpha_2 = \frac{92,3 \cdot 0,414}{0,017} = 2237,7 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}$$

Знайдемо значення коефіцієнта тепловіддачі α_1 аналогічно як α_2 з врахуванням усіх значень та коефіцієнтів.

$$Re = \frac{w \cdot d_e \cdot \rho}{\mu}$$

Параметри теплоносія (води) при температурі 95°C.

Динамічна в'язкість води $\mu = 804 \cdot 10^{-6}$ Па·с; [11]; ρ - густина води. $\rho = 996$ кг/м³ [11]; $Pr = 5,42$; λ - коефіцієнт теплопровідності води; $\lambda = 0,618$ Вт/(м·К) [11]; w - швидкість руху води, приймаємо 1 м/с; d - еквівалентний діаметр.

$$Re = \frac{1 \cdot 0,03 \cdot 996}{804 \cdot 10^{-6}} = 37164.$$

Критерій Нувльсена Nu знайдемо за формулою:

$$Nu = 0,021 Re^{0,8} \cdot Pr^{0,43} \left(\frac{Pr}{Pr_{cm}} \right)^{0,25}$$

Числове значення:

$$Nu = 0,021 \cdot 37164^{0,8} \cdot 5,42^{0,43} \cdot 1 = 0,021 \cdot 4529,9 \cdot 2,08 = 197,9$$

$$\alpha_1 = \frac{197,9 \cdot 0,618}{0,03} = 4076,74 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

Визначимо коефіцієнт теплопередачі між розчином і трубками з теплоносієм:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{4076,74} + \frac{0,0015}{46} + \frac{1}{1273,7}} = 941 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

Площу поверхні нагрівання геліоколектора (теплообмінника) визначаємо за формулою:

$$F = \frac{Q}{K \cdot \Delta t_c} \quad (3.11)$$

$$F = \frac{3921,74}{941 \cdot 20} = 0,3 \text{ м}^2.$$

3.4 Розрахунок конструктивних елементів опорної рами геліосистеми

Для виготовлення рами геліосистеми використаємо сталевий кутник розміром 80×80 мм зі спеціальної сталі марки Ст3. З'єднання кутників здійснюватиметься шляхом зварювання. Щоб надати конструкції необхідну жорсткість, додатково встановимо поперечні смуги між вертикальними опорами та рамкою, на якій розміщуватиметься колектор. Для забезпечення надійної стійкості конструкцію закріплюватимемо за допомогою спеціальних монтажних гаків, які за-

биваються в ґрунт (БРМА 25.00.00.000 ВЗ).

Як зазначалося в попередніх розділах, передбачена можливість регулювання кута нахилу колектора відповідно до пори року. З цією метою конструкцією передбачено простий механізм регулювання. У геліопанелі є спеціальні тримачі для кріплення до рами. У вертикальних кутниках передбачені отвори, розміщені на певній відстані один від одного. Через ці отвори та тримачі в колекторі пропускається сталевий прут діаметром 25 мм. Зі зміною пори року положення геліопанелі змінюється шляхом перестановки прутка в інші отвори на стійці.

Габаритні розміри рами для колектора обираємо таким чином, щоб її довжина і ширина перевищували розміри самого колектора на 40 мм з кожного боку, тобто становили 2080×980 мм.

Розрахункова схема рами геліоколектора показана на рис. 3.5.

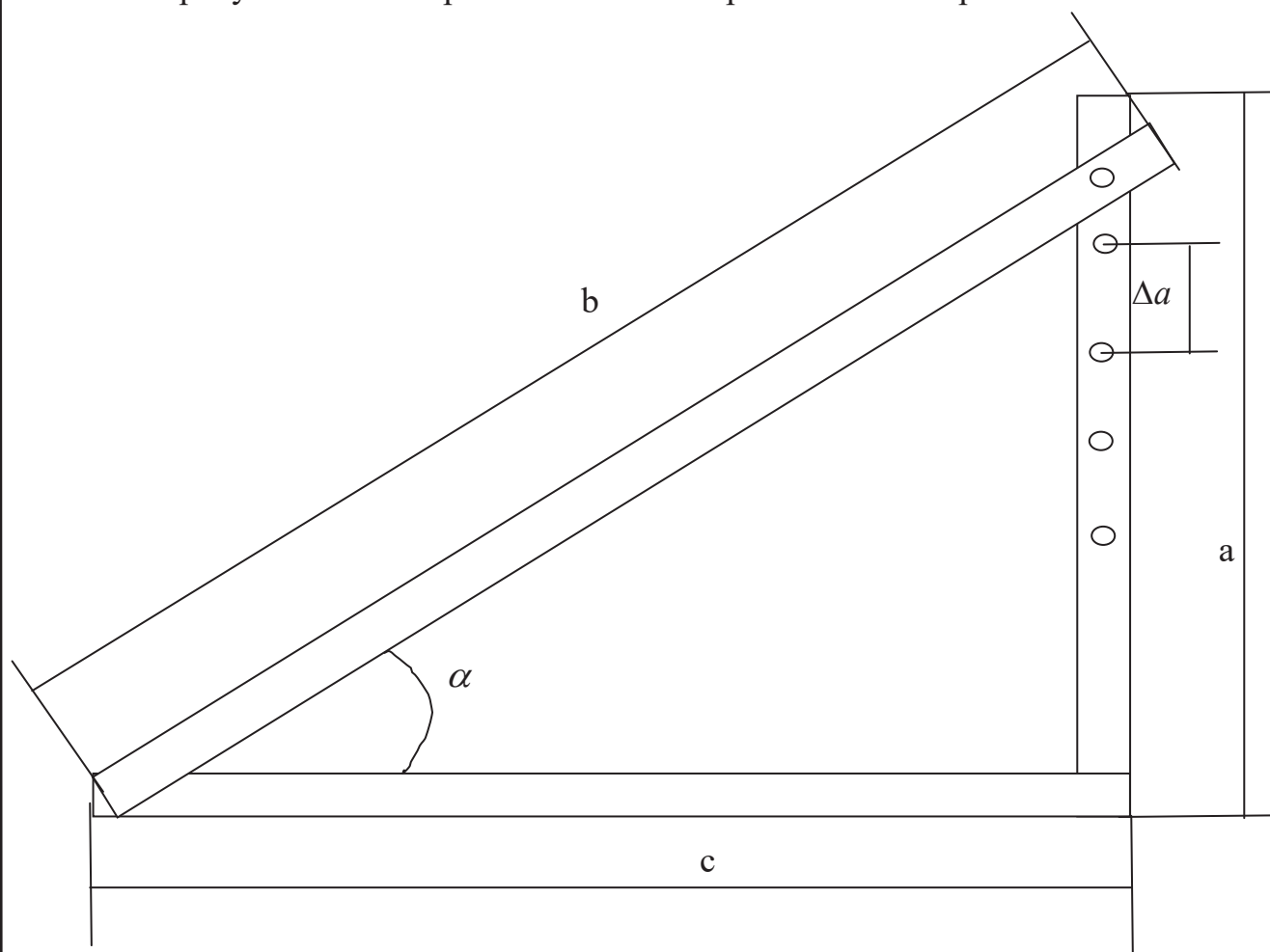


Рисунок 3.5 – Розрахункова схема рами геліоколектора

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

БРМА 25.00.00.000 ПЗ

Арк.
60

Висоту стійок a рами геліоколектора визначаємо за формулою:

$$a = b \cdot \sin \alpha \quad (3.20)$$

де b - ширина рами геліоколектора, приймаємо $b = 2000$ мм. Коструктивно приймемо, що місце кріплення буде знаходитись на відстані 80 мм від краю геліоколектора; α - кут нахилу геліоколектора до горизонту.

Обчислення зробимо, підставляючи у формулу (3.20) значення кута з інтервалом 5^0 . Будемо підставляти значення кута починаючи від 20^0 і до 60^0 . Позначивши позначення сторони відповідно a_{25} мм, ..., a_{45} a_{60} .

$$a_{20} = 2000 \cdot \sin 20 = 618 \text{ мм.}$$

Числові значення висоти стійки $a_{25} = 765$ мм, $a_{45} = 1322$ мм, $a_{60} = 1618$ мм.

Відстань між отворами стійки рами геліоколектора $\Delta a = 150$ мм.

Розмір опорної стійки рами геліоколектора буде визначатись за формулою:

$$c = b \cdot \cos \alpha \quad (3.21)$$

$$c = 2000 \cdot \cos 20 = 1280 \text{ мм.}$$

3.5 Оцінка міцності конструкції рами

Перевіримо за рівнянням (3.22) на зріз втулку, якою кріпиться геліоколектор до рамної конструкції.

$$\frac{\pi d_1^2}{4} [\tau_{cp}] \geq P, \quad (3.22)$$

					БРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						61
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

де d_1 - діаметр втулки; $d_1 = 20$ мм;

$[\tau_{cp}]$ - граничне напруження на зріз у матеріалі кгс/см²;

$[\tau_{cp}] = (0,2 \dots 0,3) \sigma_T$; σ_T - границя текучості, $\sigma_T = 250$ МПа; [11].

Геліоколектор має вагу 40 кг, то діюча сила від нього на раму буде $P = 400$ Н.

$$P = \frac{3,14 \cdot 0,020^2}{4} \cdot 0,3 \cdot 250 \geq 400, \quad 2355 \geq 400.$$

Перевірочні розрахунки підтверджують, що вибрана втулка придатна до використання у таких умовах.

Висновки до розділу 3.

У цьому розділі було розроблено конструкцію геліосистеми нагрівання води для побутових потреб. Описано призначення основних елементів геліосистеми, розроблено геліопанель (геліоколектор). Здійснено розрахунок змієвикового теплообмінника геліоколектора. Проведено розрахунок конструктивних елементів опорної рами геліосистеми та здійснено розрахунок, що оцінює міцності конструкції рами.

ВИСНОВКИ

У межах кваліфікаційної роботи було спроектовано компактну та бюджетну геліоустановку для підігріву води, яка призначена для побутових потреб. Цю установку може зібрати практично будь-хто, оскільки її інженерні обчислення нескладні, а виготовлення не потребує високої кваліфікації чи значних витрат.

Основне вдосконалення полягає в тому, що передбачено бак-акумулятор із вбудованим теплообмінником та електронагрівальними елементами (ТЕНами) на випадок недостатнього надходження сонячного випромінювання до геліоколектора. Крім того, система оснащена запірним клапаном, що автоматично поповнює бак водою.

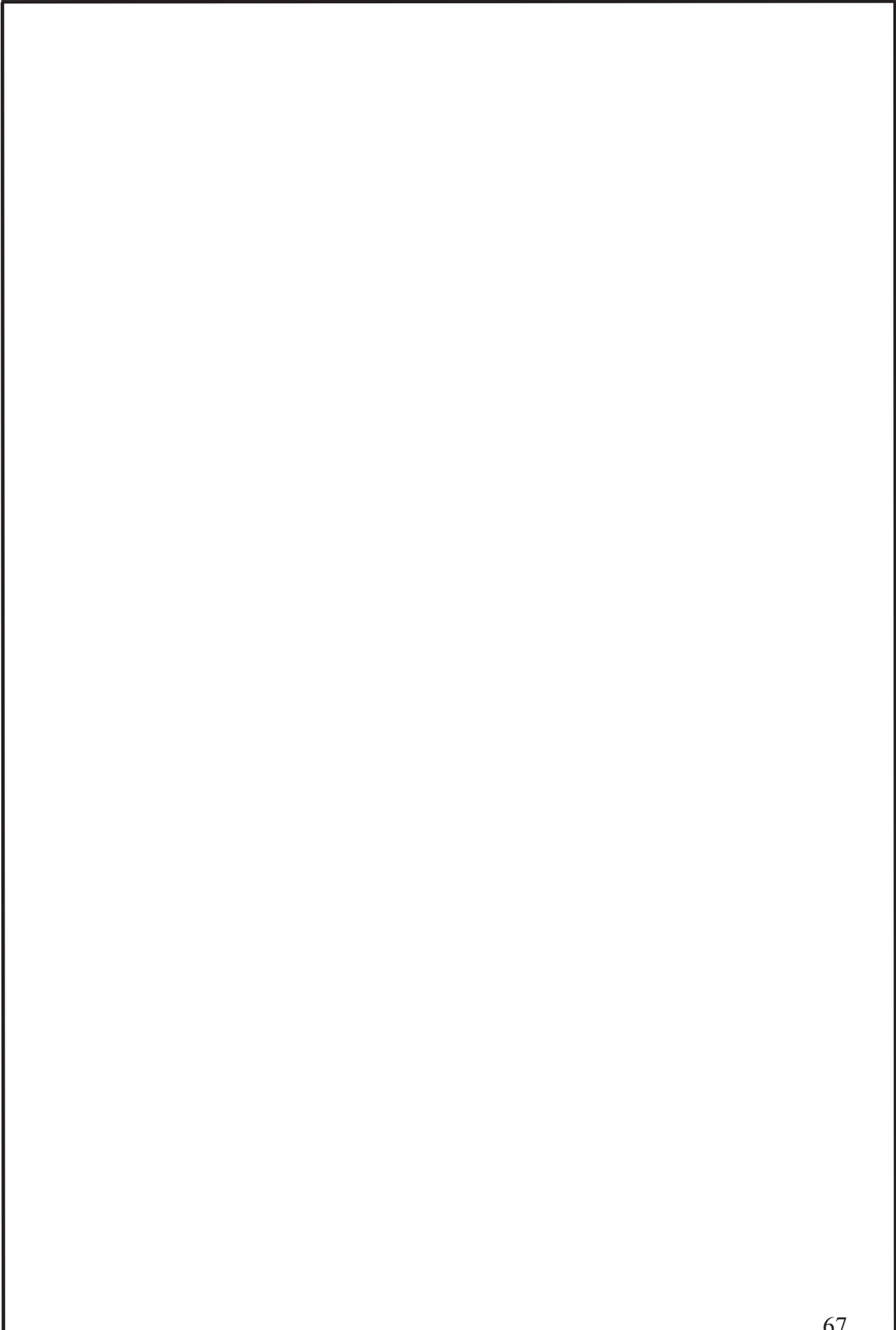
Для виготовлення поглинальної поверхні геліоколектора передбачено використання мідних листів, які відзначаються високою теплопровідністю. З метою покращення теплообміну між мідною поверхнею та трубками геліоколектора застосовується пайка олов'яним припоєм замість зварного шва, що дозволяє збільшити площу теплопередачі.

У роботі було розраховано оптимальний кут нахилу геліоколектора для заданого регіону та визначено відповідні кути для різних сезонів року. На основі цих даних розроблено конструктивні характеристики геліоколектора, виконано гідравлічну схему, а також спроектовано саму панель колектора й раму для її кріплення.

					<i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						63
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

ДОДАТКИ

					БРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						66
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		



Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата

БРМА 25.00.00.000 ПЗ

Арк.