

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

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА

Розробка автономної побутової системи теплопостачання із сонячними колекторами

Назва теми

Галузь знань 14 «Електрична інженерія»

Шифр, назва

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Шифр, назва

Освітня програма «Електропобутова техніка»

Шифр МРМА 24.00.00.000 ПЗ

Виконав студент 2 курсу
група ЕТм-23-1


Підпис

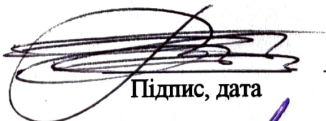
Постернак О.В.
Ініціали, прізвище

Керівник


Підпис, дата

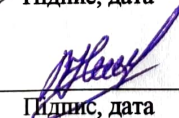
проф. Поліщук О.С.
Ініціали, прізвище

Нормоконтролер


Підпис, дата

доц. О.Г. Тимощук
Ініціали, прізвище

До захисту допускаю:


Підпис, дата

доц. Неймак В.С.
Ініціали, прізвище

Зав. кафедри МАЕЕС

17 12 2024 р.

Хмельницький 2024


ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри МАЕЕС

к.т.н., доц. Неймак В.С.

 12 .2024р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА

Постернак Олександр Вікторович

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема роботи Розробка автономної побутової системи теплопостачання із сонячними колекторами

керівник роботи проф. Поліщук О.С.

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

Затверджено наказом ректора університету від 26 08 2024 р. № 60

2. Строк подання студентом роботи на кафедру _____

3. Вихідні дані до роботи Технічні характеристики сонячних колекторів та приміщень

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

Вступ. 1. Аналіз сучасних технологій і технічних рішень у системах теплопостачання із застосуванням сонячних колекторів. 2. Розробка автономної побутової системи теплопостачання із сонячними колекторами. 3. Розрахунки, що підтверджують працездатність розробленої геліосистеми. Висновки. Перелік джерел посилання.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень) Аркуш 1. Системи гарячого водопостачання. Документ оглядовий (A1). Аркуш 2. Система гарячого водопостачання. Схема гідравлічна (A1). Аркуш 3. Вакуумний сонячний колектор. Документ ілюстраційний (A2)+Контролер. Документ ілюстраційний (A2). Аркуш 4. Циркуляційні насоси. Документ ілюстраційний (A2)+Циркуляційний насос. Габаритне креслення (A2). Аркуш 5. Розширювальний бак. Розрахунки (A2)+Розширювальний бак. Документ ілюстраційний (A2). Аркуш 6. Режими роботи контролера. Документ технологічний (A1). Аркуш 7. Система

гарячого водопостачання. Схема електрична комбінована (А1). Аркуш
Система гарячого водопостачання. Документ ілюстраційний (А1).

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

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

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

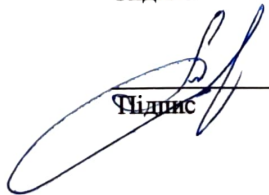
| Назва етапів (розділів) кваліфікаційної роботи | Строк виконання етапів роботи | Примітка |
|--|-------------------------------------|----------|
| 1. Аналіз сучасних технологій і технічних рішень у системах теплопостачання із застосуванням сонячних колекторів | до 28.10.24р. | |
| 2. Розробка автономної побутової системи теплопостачання із сонячними колекторами | до 15.11.24р. | |
| 3. Розрахунки, що підтверджують працездатність розробленої геліосистеми | до 17.11.24р. | |
| 4. Оформлення пояснювальної записки та графічного матеріалу | до 12.12.24р. | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |

Студент


Підпис

О.В. Постернак
Ініціали, прізвище

Керівник роботи


Підпис

О.С. Поліщук
Ініціали, прізвище

АНОТАЦІЯ

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

1. Прізвище, ім'я та по батькові _____

Постернак Олександр Вікторович

2. Тема магістерської роботи Розробка автономної побутової системи теплопостачання із сонячними колекторами _____

3. Прізвище, ініціали, вчена ступінь та звання опонента _____

4. Об'єм магістерської роботи: креслень 8 арк., сторінок записки 94

5. Україна є державою з обмеженими паливно-енергетичними ресурсами і змушена імпортувати їх у розмірі до 65%. Через це, як і багато інших країн світу з низьким рівнем власних енергетичних ресурсів, Україна планує впроваджувати альтернативні джерела отримання енергії. Одним із пріоритетних напрямків у сфері енергозбереження є використання нетрадиційних відновлених джерел енергії, до яких відноситься сонячна енергія. На території України середня кількість сонячної енергії на 1 м² сягає 4 кВт·год за день, а влітку - до 6,5 кВт·год. За рік це близько 1500 кВт·год, що відповідає європейському середньому рівню. Такі умови сприяють впровадженню сонячних колекторів у житлово-комунальному господарстві та агропромисловому секторі. Тому проектування та застосування сонячних систем теплопостачання в житлово-комунальному господарстві та промисловості на сьогодні є актуальною задачею.

В магістерській роботі розроблено автономну побутову систему теплопостачання із сонячними колекторами. В першому розділі зроблено аналіз сучасних технологій і технічних рішень у системах теплопостачання із застосуванням сонячних колекторів. В другому здійснено розробку автономної побутової системи теплопостачання із сонячними колекторами. В третьому розділі виконано розрахунки, що підтверджують працездатність розробленої геліосистеми.

Підпис студента Постернак

" 17 " 12 20 24 р.

РІШЕННЯ ЕК:

Протокол 5 від " 27 " 12 20 24 р.

Оцінка проекту ЕК Відмінно/5

Рекомендації ЕК _____

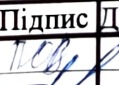


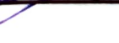
Особливі відмітки _____

Технічний секретар Постернак

" 27 " 12 20 24 р.

ЗМІСТ

| | | стор. |
|------|---|-------|
| | Вступ | 6 |
| 1 | Аналіз сучасних технологій і технічних рішень у системах теплопостачання із застосуванням сонячних колекторів | 8 |
| 1.1 | Характеристики сонячного випромінювання | 8 |
| 1.2 | Теоретичні аспекти роботи геліосистем | 13 |
| 1.3 | Характеристика та особливості сонячних колекторів | 20 |
| 1.4 | Висновки до першого розділу | 27 |
| 2 | Розробка автономної побутової системи теплопостачання із сонячними колекторами | 28 |
| 2.1 | Створення гідравлічної схеми для системи теплопостачання з геліоколекторами | 28 |
| 2.2 | Підбір сонячного колектора для системи теплопостачання | 30 |
| 2.3 | Вибір циркуляційного насоса для системи теплопостачання | 34 |
| 2.4 | Аналіз та вибір мембранного розширювального бака | 40 |
| 2.5 | Вибір акумулюючої ємності для системи | 45 |
| 2.6 | Підбір типу теплообмінника для системи | 48 |
| 2.7 | Аналіз та підбір елементів регулюючо-запірної арматури | 51 |
| 2.8 | Аналіз та підбір контролера для системи | 58 |
| 2.9 | Розробка комбінованої електричної схеми та підбір електрообладнання для системи ГВП | 65 |
| 2.10 | Опис розробленої системи гарячого водопостачання та її елементів | 67 |
| 2.11 | Створення лабораторної роботи для дослідження системи ГВП | 69 |

| | | | | | | | | | |
|-----------------------------|------|-----------|---|------|--|-----------------|-------|---------|----|
| МРМА 24.00.00.000 ПЗ | | | | | | | | | |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата | Розробка автономної побутової системи теплопостачання із сонячними колекторами Пояснювальна записка | Літера | Аркуш | Аркушів | |
| Виконав | | Постернак |  | | | М | | 4 | 94 |
| Перевір. | | Поліщук |  | | | ХНУ гр.ЕТм-23-1 | | | |
| І контр. | | Тимошук |  | | | | | | |
| Затвер. | | Неймак |  | | | | | | |

| | | |
|------|---|----|
| 2.12 | Висновки до другого розділу | 70 |
| 3 | Розрахунки, що підтверджують працездатність розробленої геліосистеми | 71 |
| 3.1 | Розрахунок кутів нахилу та напрямку для максимального збору енергії сонячним колектором | 71 |
| 3.2 | Розрахунок параметрів сонячного колектора та буферної ємності | 80 |
| 3.3 | Висновки до третього розділу | 87 |
| | Висновки | 88 |
| | Перелік джерел посилання | 89 |
| | Додаток А | |
| | Додаток Б | |

ВСТУП

Україна є державою з обмеженими паливно-енергетичними ресурсами і змушена імпортувати їх у розмірі до 65%. Через це, як і багато інших країн світу з низьким рівнем власних енергетичних ресурсів, Україна планує впроваджувати альтернативні джерела отримання енергії. Одним із пріоритетних напрямків у сфері енергозбереження є використання нетрадиційних відновлених джерел енергії, до яких відноситься сонячна енергія [1].

Сонячна енергія є універсальним ресурсом, доступним у будь-якому куточку планети, причому щільність сонячного випромінювання варіюється. Завдяки цьому сонячна енергетика є привабливим варіантом для країн у всьому світі, сприяючи досягненню їхніх цілей у сфері енергетичної незалежності та сталого розвитку.

Сонячна радіація є чистим і екологічним джерелом енергії, яке можна використовувати в дедалі ширших масштабах без шкоди для навколишнього середовища. Сонячне випромінювання є практично невичерпним ресурсом, який залишатиметься доступним протягом багатьох років.

Основні напрями використання сонячної енергії включають [2]:

- отримання теплової енергії шляхом прямої абсорбції сонячного випромінювання;
- перетворення сонячної радіації на електроенергію.

Збереження тепла через пряму абсорбцію сонячного випромінювання є простим способом використання сонячної енергії. Отримане тепло застосовують для нагрівання води, обігріву приміщень і сушіння матеріалів. У промислово розвинутих країнах близько 40% енергії використовують на низькотемпературне нагрівання (до 100 °С), яке забезпечують вакуумні та плоскі сонячні колектори.

| | | | | | | |
|-----|------|---------|--------|------|---------------------|------|
| | | | | | MPMA24.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата | | 6 |

Сонячне випромінювання проходить через прозоре скло колектора з коефіцієнтом пропускання до 95%, потрапляючи на теплоприймач із спеціальним покриттям, яке поглинає до 95% енергії. Це дозволяє нагрівати теплоприймач до 50–90 °С залежно від умов.

У літній період у середній смузі Європи плоскі сонячні колектори нагрівають 50–60 літрів води до 60–70 °С на м² геліосистеми за день, а вакуумні — 70–90 літрів. ККД плоских колекторів досягає 70 % і залежить від температури, радіації та навколишнього середовища, тоді як вакуумні мають ККД до 92 % [3].

На території України середня кількість сонячної енергії на 1 м² сягає 4 кВт·год за день, а влітку - до 6,5 кВт·год. За рік це близько 1500 кВт·год, що відповідає європейському середньому рівню. Такі умови сприяють впровадженню сонячних колекторів у житлово-комунальному господарстві та агропромисловому секторі.

Тому проектування та застосування сонячних систем теплопостачання в житлово-комунальному господарстві та промисловості на сьогодні є актуальною задачею.

| | | | | | | |
|-----|------|---------|--------|------|---------------------|------|
| | | | | | МРМА24.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 7 |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата | | |

1 АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ І ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ У СИСТЕМАХ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ СОНЯЧНИХ КОЛЕКТОРІВ

1.1 Характеристики сонячного випромінювання

Сонячна енергія - невичерпне, безкоштовне та екологічно чисте джерело енергії, що утворюється внаслідок термоядерних реакцій на Сонці. На Землю щодня надходить близько 174 петаватт сонячної енергії, але частина її втрачається через атмосферу та відбивається в космос.

Середньодобова кількість сонячної енергії на кожен квадратний метр земної поверхні становить близько 4,2 кВт·год, а в пустельних районах цей показник стабільно перевищує 6 кВт·год.

Переваги сонячної енергії [5]:

- невичерпність. Термоядерні реакції на Сонці триватимуть ще 5 мільярдів років;
- величезні обсяги. Потужність сонячної енергії перевищує глобальні потреби у 20 тисяч разів;
- мінімальні витрати. Енергія безкоштовна, витрати лише на перетворення, транспортування не потрібне;
- широка доступність. Доступна майже по всій Землі, навіть у північних районах вистачає для розвитку сонячної енергетики.
- автономність. Забезпечує електроенергію у віддалених районах без доступу до централізованих мереж.

Недоліки сонячної енергії [6]:

- сезонність та нестабільність. Інтенсивність сонячного випромінювання суттєво знижується в осінньо-зимовий період, а вночі сонячна енергія взагалі недоступна;
- складність прогнозування. Генерація сонячної енергії є нестабільною

та залежить від багатьох факторів, таких як погодні умови, час доби та сезон.

Типи застосування сонячної енергії [7]:

1. Активні технології:

- теплові сонячні колектори перетворюють енергію сонячного випромінювання в теплову енергію, яка використовується для обігріву приміщень або генерації електрики.

- фотомодулі виконують пряме перетворення сонячної енергії на електричну.

2. Пасивні технології:

- орієнтація будівель таким чином, щоб отримувати максимальну кількість сонячного світла та тепла протягом дня.

- світлові колодязі, наприклад, світловий колодязь діаметром 30 см може освітлювати до 8 м² площі (рисунок 1.1, 1.2).

Сонячна радіація – це енергія, випромінювана Сонцем у вигляді електромагнітних хвиль різної довжини [8]. Діапазон цих хвиль, які досягають поверхні Землі, охоплює широкий спектр – від радіохвиль до рентгенівських променів.

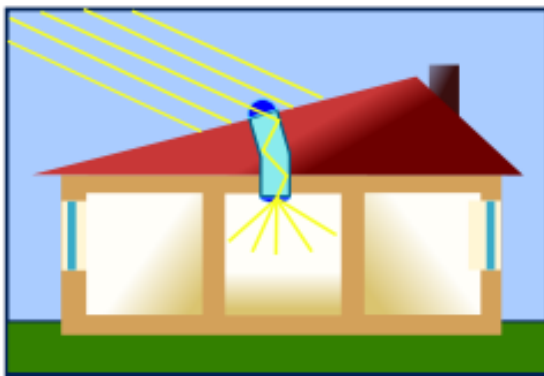


Рисунок 1.1 - Схема світлового колодязя



Рисунок 1.2 - Приклад світлового колодязя

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

МРМА24.00.00.000 ПЗ

Арк.

9

Радіація, що досягає поверхні Землі, може бути прямою або розсіяною. Це обумовлено наявністю численних природних перешкод на її шляху (рисунок 1.3), серед яких:

- озоновий шар атмосфери;
- водяна пара;
- хмари;
- пил у повітрі.

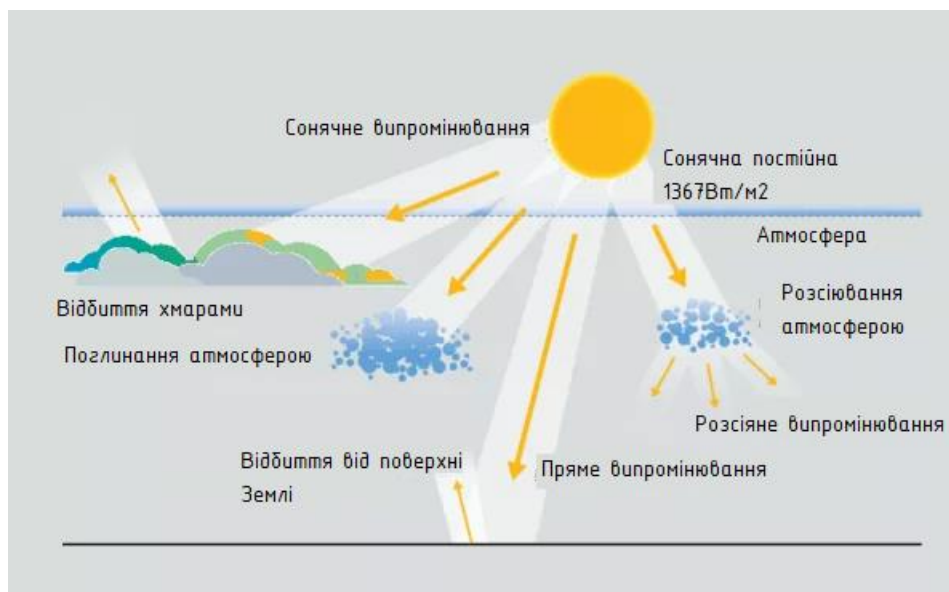


Рисунок 1.3 – Схема падіння променів Сонця на поверхню Землі

На інтенсивність сонячної радіації впливають [9]:

1. Географічна широта. Близьче до екватора радіація вища, близьче до полюсів - нижча.
2. Висота над рівнем моря. У гірських районах радіація сильніша.
3. Пору року. У середніх широтах радіація змінюється між літом і зимою, тоді як біля екватора та полюсів - майже постійна.
4. Висота Сонця. Максимальна інтенсивність у зеніті, мінімальна - біля горизонту.
5. Чистота повітря. Забруднення знижує кількість енергії, яка досягає поверхні.

Кількісним показником для оцінювання потоку сонячної енергії є

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

величина, яка називається інсоляцією [9]. Згідно з Вікіпедією, інсоляція (лат. *In-sol* від *in* – всередину і *solis* – сонце) визначається як опромінення поверхні сонячним світлом (сонячною радіацією), тобто потік сонячної радіації, що досягає поверхні. Це також можна описати як опромінення поверхні або простору паралельним пучком променів, що надходять з напрямку, в якому в даний момент знаходиться центр сонячного диска.

Інсоляція вимірюється кількістю одиниць енергії, що падають на одиницю поверхні за одиницю часу. Зазвичай вона виражається в кВт·год/м². Значення інсоляції змінюються залежно від регіону світу.

На величину інсоляції впливають такі чинники:

- висота Сонця над горизонтом,
- кут нахилу земної поверхні,
- географічна широта місцевості,
- орієнтація земної поверхні відносно сторін горизонту.

Різні величини інсоляції в різних регіонах світу представлені на рисунку 1.4.

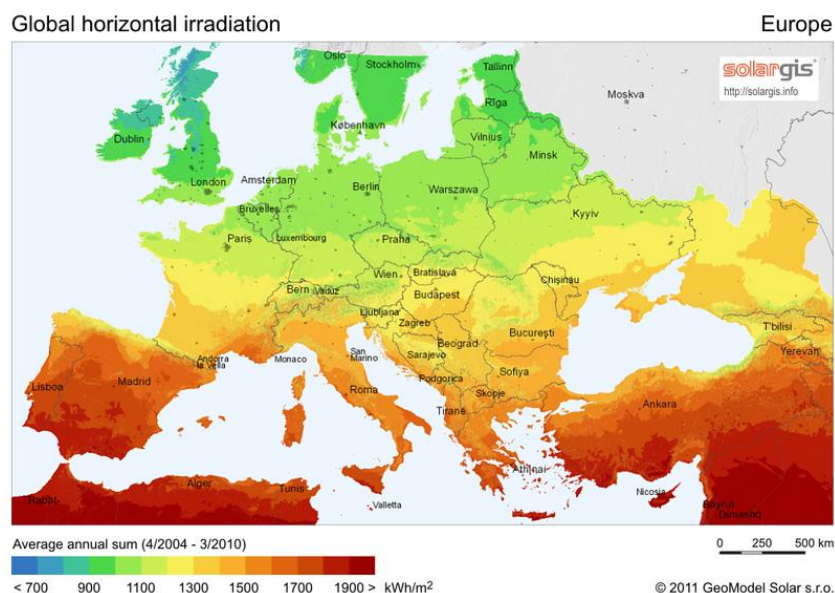


Рисунок 1.4 - Інсоляція в різних регіонах світу

Сонячна енергія, що досягає Землі, становить близько $81\,000 \cdot 10^6$ МВт·год, з яких $27\,000 \cdot 10^6$ МВт·год припадає на континенти. Цього обсягу

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

МРМА24.00.00.000 ПЗ

Арк.
11

достатньо для забезпечення енергетичних потреб тисяч цивілізацій, враховуючи, що сукупне споживання людства становить лише $10 \cdot 10^6$ МВт·год.

Технічно можливо використовувати близько 15 % цієї енергії ($12 \cdot 10^6$ МВт·год), що дозволило б відмовитися від вуглеводневого палива та зменшити забруднення CO_2 . Це робить сонячні пристрої перспективним напрямом енергетики [11].

На рисунку 1.5 показана карта інтенсивності сонячного випромінювання на території Європи.

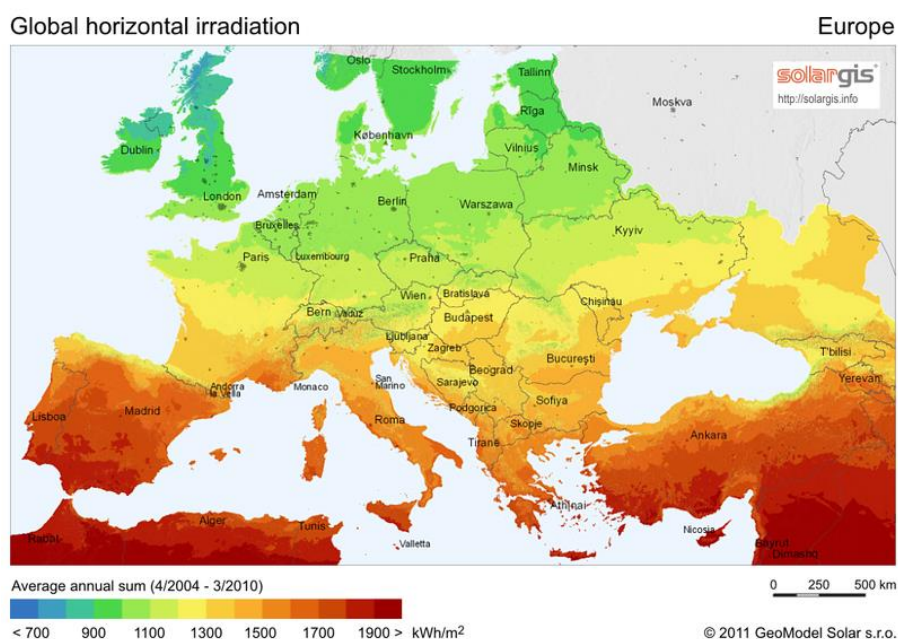


Рисунок 1.5 - Інсоляція в різних регіонах Європи

На рисунку 1.6 наведена карта інтенсивності сонячного випромінювання на території України.

За даними NASA, річна інсоляція в Україні становить $1000\text{--}1400$ кВт·год/м² (рисунок 1.6, таблиця 1.1) [12]. Найперспективніші регіони: Запоріжжя, Дніпропетровська, Луганська області, а також Херсон, Одеса, Сімферополь. У літній період у цих регіонах інсоляція сягає понад 6 кВт·год/м²/день (наприклад, у Миколаєві – 6,03, у Херсоні – 6,04 кВт·год/м²/день).

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

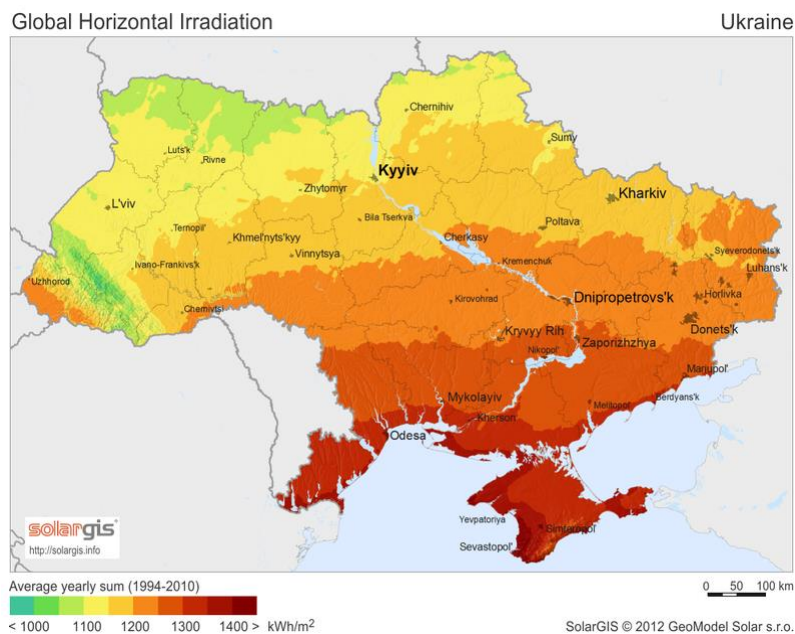


Рисунок 1.6 - Інсоляція в різних регіонах України

Середньорічний рівень опромінення варіюється від 3,34 кВт·год/м²/день у Луганську до 3,58 у Сімферополі, що робить сонячну енергетику перспективною для України.

1.2 Теоретичні аспекти роботи геліосистем

Геліосистема - це комплексне обладнання, призначене для перетворення сонячної енергії в теплову [13].

Сонце дає людству величезну кількість енергії, і завдання виникне в тому, щоб ефективно зібрати та використати цю енергію. Наприклад, середня кількість енергії, що випромінюється Сонцем на земну поверхню на широті Києва в літній період, становить близько 6 кВт·год/м² на добу.

Згідно з першим законом термодинаміки, енергія не виникає ні з чого і не зникає безслідно, а лише переходить з одного стану в інший.

Призначення геліосистем [13].

Основне призначення геліосистем - це максимально ефективно перетворення сонячної енергії в тепло. На сьогоднішній день максимальний

[13]. Наприклад, для підігріву води в басейні об'ємом 980 м³ необхідно встановити 37 колекторів (1080 трубок).

Також геліосистеми ідеально підходять для гарячого водопостачання ресторанів та готелів, де є постійний попит на гарячу воду і великі теплові навантаження. Це пояснюється тим, що сонячний колектор постійно розраховується на покриття 80 % теплового навантаження.

Склад геліосистеми.

Стандартний комплект геліосистеми включає наступні елементи (рисунок 1.7) (креслення [МРМА24.00.00.000ДО]) [13]:

- пристрій, який переносить теплоносій,
- генератор теплоти (геліоколектор будь-якого типу),
- об'єкт, який нагрівається (вода системи гарячого водопостачання, система опалення, басейн).



Рисунок 1.7 – Елементи геліосистеми [13]

Конструкція та робота геліосистеми [13].

Геліосистема складається з сонячного колектора і теплообмінника-аккумулятора. Теплоносій циркулює через колектор, нагріває енергією Сонця і передає її воді через теплообмінник у бак-аккумулятор, де зберігається гаряча

вода. Бак оснащений теплоізоляцією для збереження тепла.

У першому контурі забезпечується природна або примусова циркуляція теплоносія. Для підтримання температури в баку встановлюється нагрівальний елемент-дублер, який автоматично вмикається при зниженні температури.

Переваги геліосистем:

- до 80 % економії енергії влітку;
- термін служби до 30 років;
- окупність за 7-8 років;
- довговічність завдяки матеріалам зі скла та алюмінію.

Недоліки геліосистем [13].

- сезонність. Взимку ефективність значно знижується через низький рівень інсоляції;
- високі початкові витрати. Попри значну вартість встановлення, система окупається за 7–8 років;
- чутливість до перепадів напруги: Перепади або відключення електроенергії можуть пошкодити обладнання або спричинити закипання теплоносія, що призводить до виходу системи з ладу.

Ефективність використання сонячних систем в Україні [13].

Геліосистеми придатні для застосування по всій території України, включно з північними регіонами. У Чернігівській області рівень інсоляції сягає 950 кВт·год/м² на рік, тоді як у Херсонській та Одеській областях - до 1400 кВт·год/м².

Найвища ефективність використання геліосистем спостерігається в південних регіонах завдяки максимальному рівню інсоляції.

Типи систем сонячного теплового постачання [13].

Розглянемо чотири основні типи систем сонячного теплового постачання:

- одноконтурна система із активною циркуляцією теплоносія;

- одноконтурна система із пасивною циркуляцією теплоносія;
- двоконтурна система із активною циркуляцією теплоносія;
- двоконтурна система із пасивною циркуляцією теплоносія.

Одноконтурна система із пасивною циркуляцією теплоносія.

Принцип роботи одноконтурної термосифонної системи.

Одноконтурна термосифонна система для прямого нагрівання води працює за таким принципом (рисунок 1.8) [14]. Холодна вода заповнює колектор, бак-акумулятор та трубопроводи. Сонячне випромінювання проходить через прозоре покриття колектора, нагріваючи поглинаючу панель і воду в її каналах.

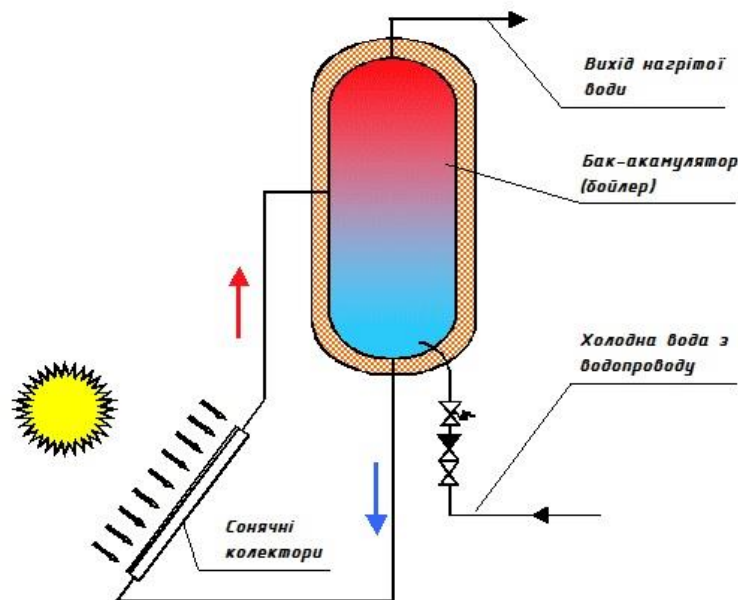


Рисунок 1.8 - Принципова схема термосифонної одноконтурної системи гарячого сонячного водопостачання [14]

Нагріта вода, стаючи менш щільною, піднімається до бака-акумулятора, де накопичується у верхній частині. Холодна вода з бака надходить назад у колектор, забезпечуючи циркуляцію. Інтенсивність цього процесу залежить від потоку сонячного випромінювання.

Гаряча вода для споживання береться з верхніх шарів бака, тоді як холодна подається під тиском у нижню частину. Бак-акумулятор має бути

розміщений вище за колектор на 3–4 м, якщо не використовується насос для циркуляції.

Двоконтурна система з пасивною циркуляцією теплоносія.

Двоконтурна термосифонна система працює за аналогією з одноконтурною, але має окремий замкнений контур для колекторів (рисунок 1.9). У цьому контурі використовується незамерзаючий теплоносій, який нагрівається в колекторі, піднімається до теплообмінника в баку-акумуляторі та передає тепло воді. Охолоджений теплоносій повертається до колектора, забезпечуючи постійну циркуляцію за наявності сонячної радіації.

Бак нагрівається поступово протягом дня, а гаряча вода береться з верхніх шарів, що дозволяє використовувати її ще до повного прогріву. У разі пасивної циркуляції бак-акумулятор повинен бути розташований вище за колектори на 3–4 м. За наявності насоса його розташування може бути довільним.

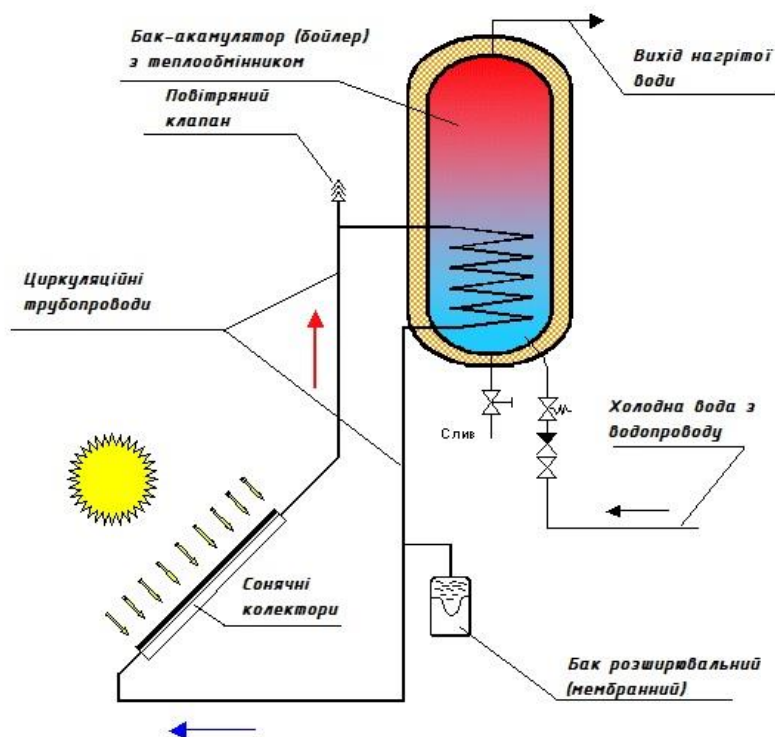


Рисунок 1.9 - Принципова схема двоконтурної термосифонної системи гарячого сонячного водопостачання

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

Двоконтурна система з активною циркуляцією теплоносія.

Двоконтурна система з активною циркуляцією теплоносія працює з використанням насоса для примусової циркуляції (рисунок 1.10). Це дозволяє встановлювати бак-акумулятор у будь-якому місці, незалежно від розташування колекторів.

Електронний блок керування контролює роботу насоса, порівнюючи температуру в колекторах і баку за допомогою датчиків. Насос вмикається, коли температура в колекторах перевищує температуру води в баку. Деякі блоки керування регулюють швидкість насоса для підтримання оптимальної різниці температур між елементами системи.

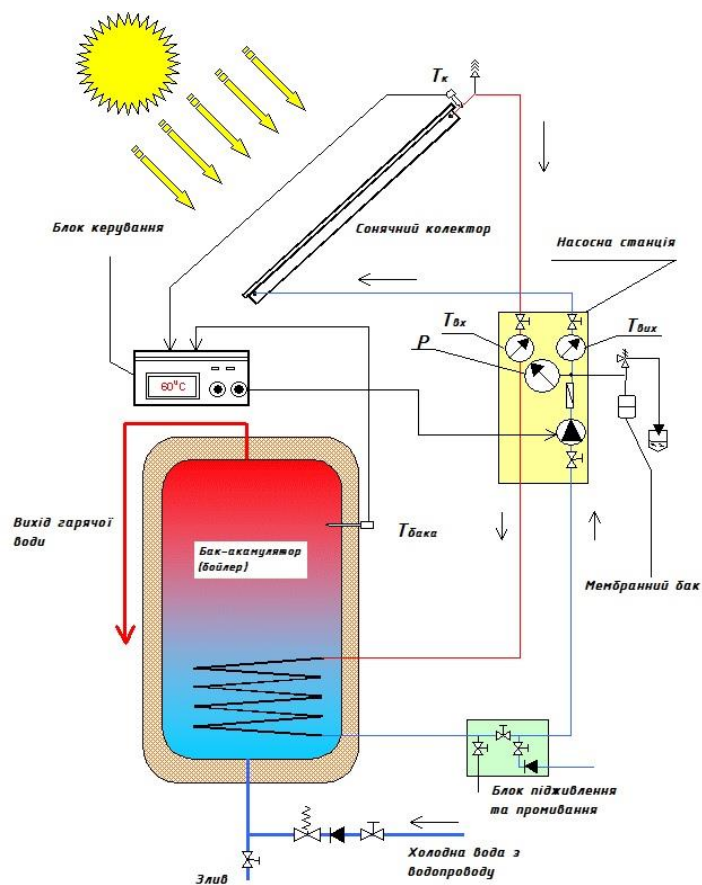


Рисунок 1.10 - Принципова схема двоконтурної системи сонячного гарячого водопостачання із циркуляцією примусовою

Приклад розміщення елементів сонячної системи гарячого теплопостачання в будинку наведено на рисунку 1.11.



1 – сонячний колектор; 2 – бак розширювальний; 3 – бак-акумулятор;
4 – котел опалювальний

Рисунок 1.11 - Розміщення елементів сонячної системи гарячого теплопостачання в будинку:

1.3 Характеристика та особливості сонячних колекторів

Сонячний колектор.

Сонячний колектор - пристрій, що перетворює сонячну енергію на теплову. Простим прикладом є чорна бочка чи відро з водою, залишене на Сонці [15].

Відкритий сонячний колектор.

Цей тип колектора має просту конструкцію: активна поверхня з чорного пластику або гуми з трубками для циркуляції води (рисунок 1.12). У ньому відсутні захисні елементи чи теплоізоляція. Відкриті колектори застосовуються для нагрівання води в басейнах і переважно використовуються в регіонах із теплим кліматом.

Переваги:

- проста конструкція;

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

МРМА24.00.00.000 ПЗ

Арк.
20

- низька вартість;

Недоліки:

- низький ККД;

- короткий термін експлуатації (1–2 сезони);

- відсутність теплоізоляції, що унеможливує використання при температурі нижче 20 °С;

- швидке зношування через відсутність захисту.

Через обмеження відкриті сонячні колектори придатні лише для теплого сезону та сприятливого клімату.



Рисунок 1.12 – Сонячний гумовий відкритий колектор для басейну

Плоский сонячний колектор.

Плоский сонячний колектор (рисунок 1.13) має активну частину - абсорбер, як у відкритих колекторах, але оснащений додатковими елементами захисту: теплова ізоляція для зменшення втрат тепла; прозорий захисний шар, що захищає від механічних пошкоджень і УФ-випромінювання [16].

Конструкція абсорбера.

Абсорбер виготовляється з міді або алюмінію та має систему трубок із цих матеріалів.

Поширені типи:

- мідні труби на мідній основі;

- мідні труби на алюмінієвій основі;

- алюмінієві труби на алюмінієвій основі.

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

МРМА24.00.00.000 ПЗ

Арк.

21

Активна поверхня абсорбера покривається селективним шаром із чорного хрому або оксидів кремнію й титану, який забезпечує коефіцієнт поглинання 90–95 %.

Ця конструкція дозволяє ефективно перетворювати сонячну енергію в теплову та мінімізувати теплові втрати.

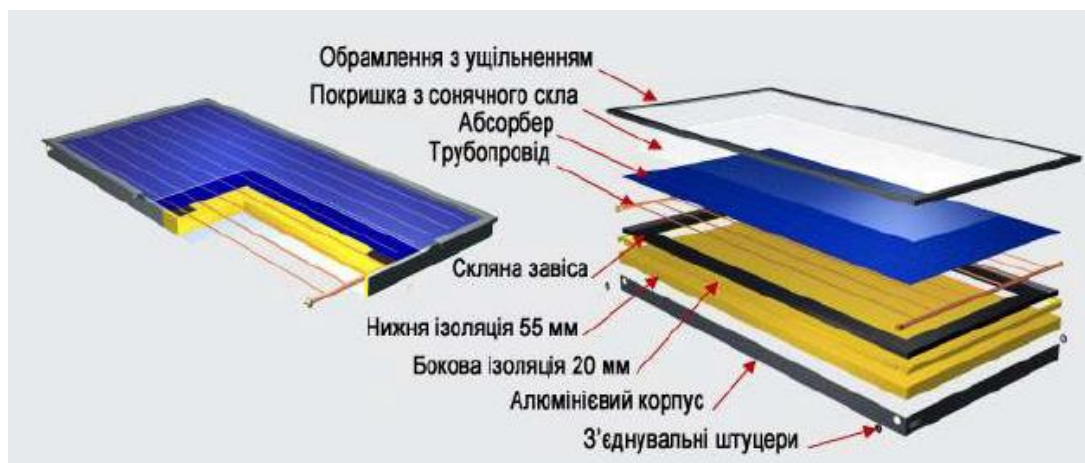


Рисунок 1.13 – Плоский сонячний колектор

Система труб для передачі тепла від абсорбера може бути виконана у формі паралельного поєднання трубок або змійовика (рисунок 1.14) [14].

Паралельне з'єднання забезпечує вищу ефективність теплопередачі та менший опір потоку води. Змійовик є технологічнішим і надійнішим завдяки меншій кількості з'єднань. Мідні трубки зазвичай з'єднують паралельно, а алюмінієві - у формі змійовика, оскільки їхнє з'єднання є складнішим.

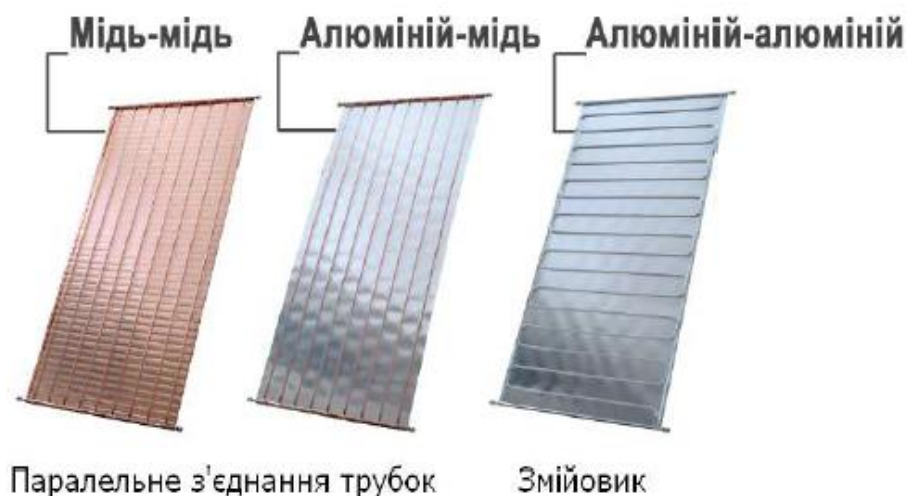


Рисунок 1.14 – Способи з'єднання трубок абсорбера

Конструкція та властивості корпусу і скла плоского сонячного колектора.

Корпус сонячного колектора захищає його від атмосферних впливів і зменшує теплові втрати. Герметичність корпусу впливає на ефективність роботи: потрапляння вологи може погіршити термоізоляцію. Корпуси зазвичай виготовляють із алюмінієвих профілів, покритих лаком для довговічності.

Скляна кришка захищає колектор від зовнішніх впливів (сніг, вітер, град) і втрат тепла. Спеціальне скло з низьким вмістом оксидів заліза забезпечує високу проникність сонячного випромінювання.

Ефективність роботи плоского сонячного колектора.

Плоскі колектори можуть нагрівати воду до 190–200 °С за відсутності циркуляції теплоносія. Для підвищення ефективності використовуються оптичні покриття, які зменшують теплові втрати в інфрачервоному спектрі. Приклад встановлення колектора на даху показано на рисунку 1.15 [17].



Рисунок 1.15 – Плоский сонячний колектор на даху будинку

Сонячний вакуумний колектор [14].

Сонячний вакуумний колектор складається з вакуумних скляних трубок коаксіальної конструкції (рисунок 1.16):

- зовнішня трубка забезпечує термоізоляцію, захищаючи абсорбер від втрат тепла;

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

МРМА24.00.00.000 ПЗ

Арк.
23

- внутрішня трубка з селективним покриттям поглинає сонячну енергію та перетворює її на теплову.

Вакуум між трубками мінімізує втрати тепла через теплопровідність і конвекцію, підвищуючи ефективність роботи, особливо за низьких температур і слабкої сонячної радіації.



Рисунок 1.16 – Принцип роботи сонячного вакуумного колектора

Способи відведення тепла у вакуумних сонячних колекторах.

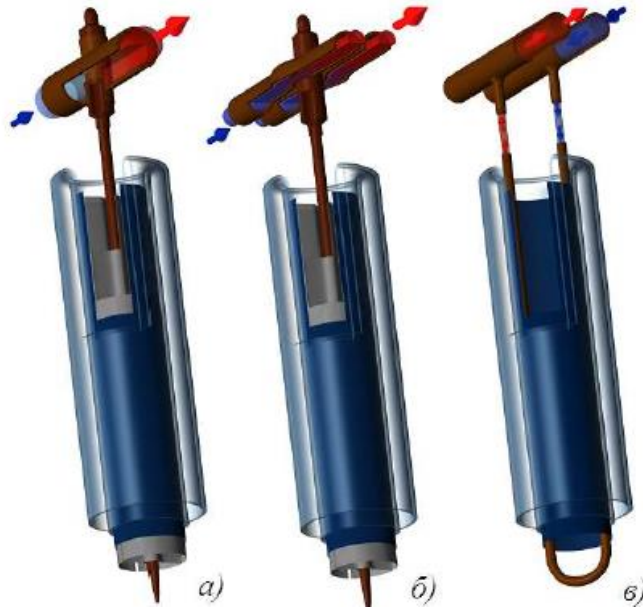
У вакуумних сонячних колекторах тепло відводиться одним із трьох способів залежно від конструкції:

- природною конвекцією води,
- тепловою трубою,
- U-подібною трубою (рисунок 1.17).

Переваги вакуумних сонячних колекторів.

Завдяки абсорбуючому покриттю з ефективністю до 93 % і тепловим втратам через вакуумну оболонку менше 8 %, вакуумні колектори мають найвищу продуктивність. Нанотехнології та тонкоплівкові покриття збільшують поглинання енергії на 20 %, забезпечуючи роботу навіть у хмарні дні.

Температура теплоносія у вакуумному колекторі без відбору тепла може сягати 250–300 °С. Вакуумні трубки з боросилікатного скла вирізняються міцністю і витримують град діаметром до 25 мм, що робить їх стійкими до екстремальних умов.



а - з однією трубою для відбору тепла; б - із двома трубами; в - з використанням U-трубок.

Рисунок 1.17 – Варіанти побудови вакуумних колекторів:

Приклад вакуумного сонячного колектора на даху будинку представлено на рисунку 1.18.



Рисунок 1.18 – Вакуумний колектор на даху будинку

Сучасні матеріали у сонячних колекторах [14].

Сучасні матеріали з високим коефіцієнтом поглинання сонячного випромінювання значно підвищують ККД сонячних колекторів. Завдяки

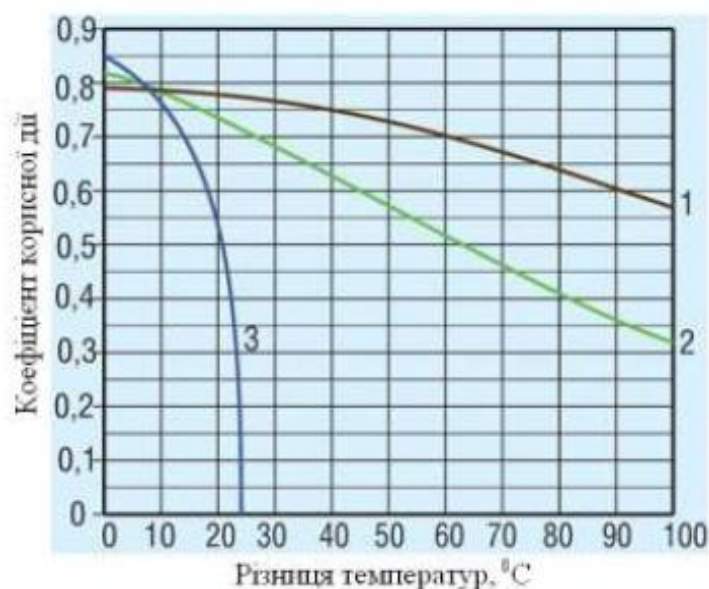
| | | | | |
|-----|------|---------|--------|------|
| | | | | |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата |

МРМА24.00.00.000 ПЗ

Арк.
25

цьому вони ефективно працюють навіть у холодний період року, оскільки їх продуктивність менше залежить від різниці температур між теплоносієм і навколишнім середовищем.

На рисунку 1.19 показано залежність ККД різних типів сонячних колекторів за потужності сонячного випромінювання 600 Вт/м^2 , що дозволяє оцінити ефективність конструкцій у заданих умовах.



1 – вакуумний, 2 – плоский, 3 – відкритий

Рисунок 1.19 – Залежність ККД сонячних колекторів від різниці температур між тепловим носієм і повітрям:

Як показано на рисунку 1.20, для умов України найбільш перспективними є плоскі та вакуумні сонячні колектори. Вони вирізняються всесезонністю, надійністю та доступною вартістю, забезпечуючи значну економію на підігріві води. Їх можна ефективно використовувати у системах опалення та гарячого водопостачання [14].

Однак для стабільності роботи рекомендується поєднувати ці системи з традиційним обладнанням на електроенергії, газі або твердому паливі, що забезпечує надійність незалежно від погодних умов.

1.4 Висновки до першого розділу

У першому розділі проведено огляд та аналіз існуючих технологічних і технічних рішень у сфері теплопостачання із використанням сонячних колекторів. Розглянуто характеристики сонячного випромінювання та наведено основні теоретичні відомості про геліосистеми, які перетворюють сонячну енергію в теплову. Також надано загальну інформацію про різні типи сонячних колекторів.

| | | | | | | |
|-----|------|---------|--------|------|---------------------|------|
| | | | | | MPMA24.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 27 |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата | | |

2 РОЗРОБКА АВТОНОМНОЇ ПОБУТОВОЇ СИСТЕМИ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ ІЗ СОНЯЧНИМИ КОЛЕКТОРАМИ

2.1 Створення гідравлічної схеми для системи теплопостачання з геліоколекторами

Розроблена система використовує теплоносій на основі пропіленгліколю, який запобігає замерзанню взимку (рисунок 2.1, креслення [МРМА24.00.00.000ГЗ]). Схема дозволяє підключати сонячні колектори паралельно, спрощуючи монтаж, скорочуючи трубопроводи та знижуючи гідравлічний опір.

Конструкція сонячного колектора.

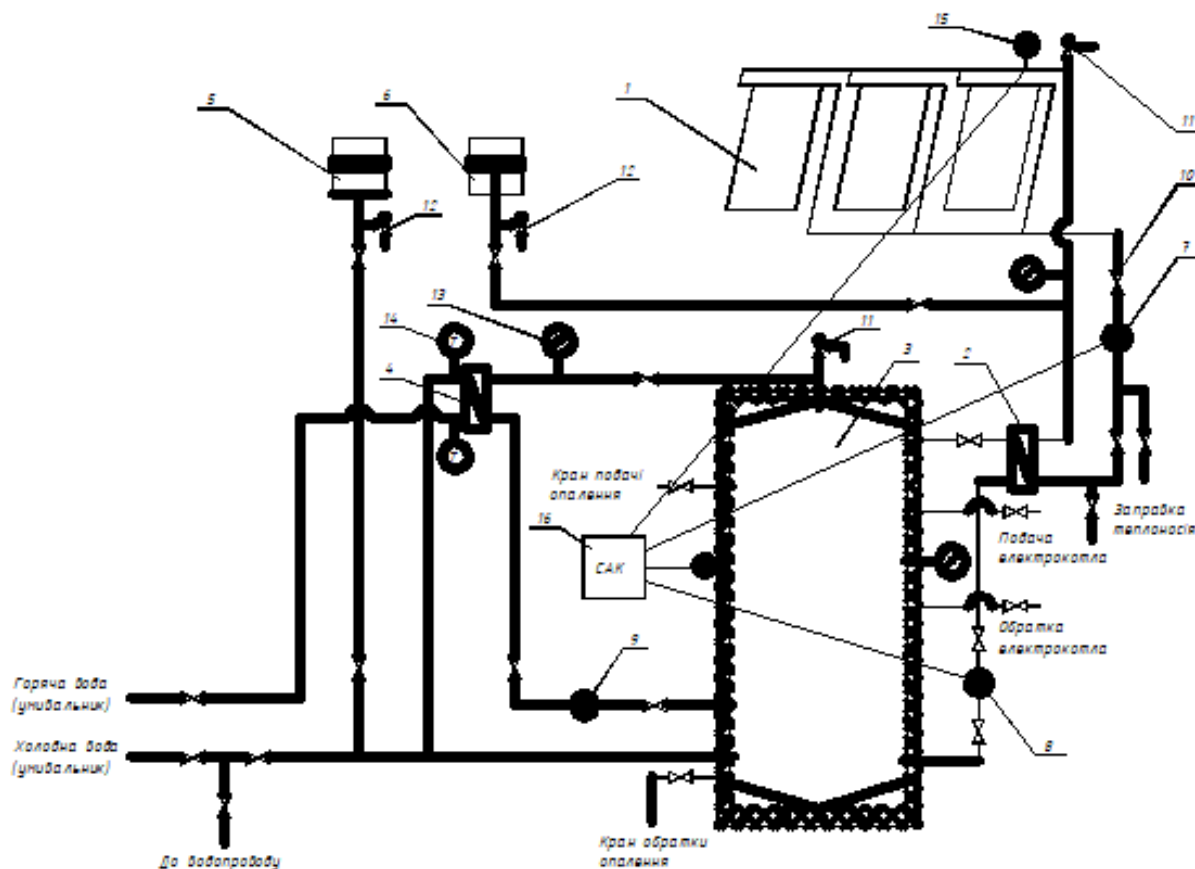
Сонячний колектор складається з подвійних вакуумних трубок із мідними тепловими трубками всередині: трубки заповнені рідиною з низькою температурою кипіння, яка усуває теплові втрати вночі [18]. Циркуляція теплоносія припиняється, якщо температура трубок опускається нижче 35 °С.

Активна циркуляція теплоносія.

У системі з активною циркуляцією бак розташовується нижче колектора, а насос мінімізує теплові втрати (рисунок 2.1) [18]. Це підвищує ефективність і забезпечує стабільність роботи навіть за несприятливих умов.

Система має чотири контури. Перший включає сонячний колектор (1), трубопроводи, гідроапаратуру, теплообмінник (2), бак-акумулятор (3), циркуляційний насос (7) і розширювальний бак (5). Другий контур містить теплообмінник (2), бак-акумулятор (3), насос (8) і гідроапаратуру. Третій контур складається з бака-акумулятора (3), насоса (9), теплообмінника (4) і гідроапаратури. Четвертий контур включає теплообмінник (4), розширювальний бак (6), гідроапаратуру і споживачів гарячої води. Перший контур заповнюється незамерзаючим теплоносієм, а бак-акумулятор водою.

Нагрітий теплоносій з колектора надходить у теплообмінник (2) через насос (7), який вмикається за командою контролера залежно від температури. Використання насосів покращує циркуляцію теплоносія та ефективність системи [18].



1- колектор сонячний; 2-теплообмінник; 3-бак-акумулятор; 4-теплообмінник; 5- бак розширювальний; 6- бак розширювальний; 7, 8, 9-насос; 10-кран; 11- розповітрявач; 12- клапан запобіжний; 13-манометр; 14-термометр; 15- датчик температури; 16-система автоматичного керування.

Рисунок 2.1 – Схема гідравлічна системи гарячого водопостачання з використанням сонячних колекторів:

У другому контурі теплоносій із першим контуром передає тепло через теплообмінник (2), яке відбирається насосом (8). У баку-акумуляторі (3) нагріта вода накопичується у верхній частині, а холодна залишається внизу, забезпечуючи поступове прогрівання протягом дня. У третьому

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

контурі насос (9) подає нагріту воду через теплообмінник (4), витісняючи її з верхніх шарів бака, а холодна вода надходить до бака під тиском водопроводу. У четвертому контурі холодна вода проходить через теплообмінник (4), нагрівається і подається споживачам, досягаючи необхідної температури [18].

За літній день сонячний колектор площею 2 м² нагріває 100 літрів води до 50–70 °С. Роботу насосів (7 і 8) контролює САК (16) за даними температурних датчиків (15) на колекторі та в баку. Для зимового опалення передбачено подачу гарячої води від додаткових джерел: електричного, газового чи твердопаливного котла [18].

2.2 Підбір сонячного колектора для системи теплопостачання

2.2.1 Загальні відомості

Геліоколектори мають нижчу продуктивність порівняно з газовими котлами, тому їх не підключають безпосередньо до системи опалення [20]. Для цього використовується буферна ємність, яка накопичує теплоносій, нагрітий енергією геліоколектора. Такий підхід дозволяє збирати тепло протягом дня, коли сонячна активність найвища, і використовувати його вночі або під час похмурої погоди. Це рішення є особливо ефективним у перехідні сезони — восени та навесні, коли зростає потреба в опаленні, але інтенсивності сонячного випромінювання достатньо для нагрівання теплоносія.

2.2.2 Визначення необхідного сонячного колектора

Для забезпечення гарячого водопостачання кафедри машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем було обрано вакуумний сонячний

| | | | | | | |
|-----|------|---------|--------|------|---------------------|------|
| | | | | | МРМА24.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 30 |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата | | |

колектор ATMOSFERA СВК-А з 10 трубками (рисунок 2.2, креслення [МРМА20.00.00.000ДІ1]) [21]. Цей тип колектора забезпечує високу ефективність поглинання сонячної енергії та оптимально підходить для задач гарячого водопостачання.

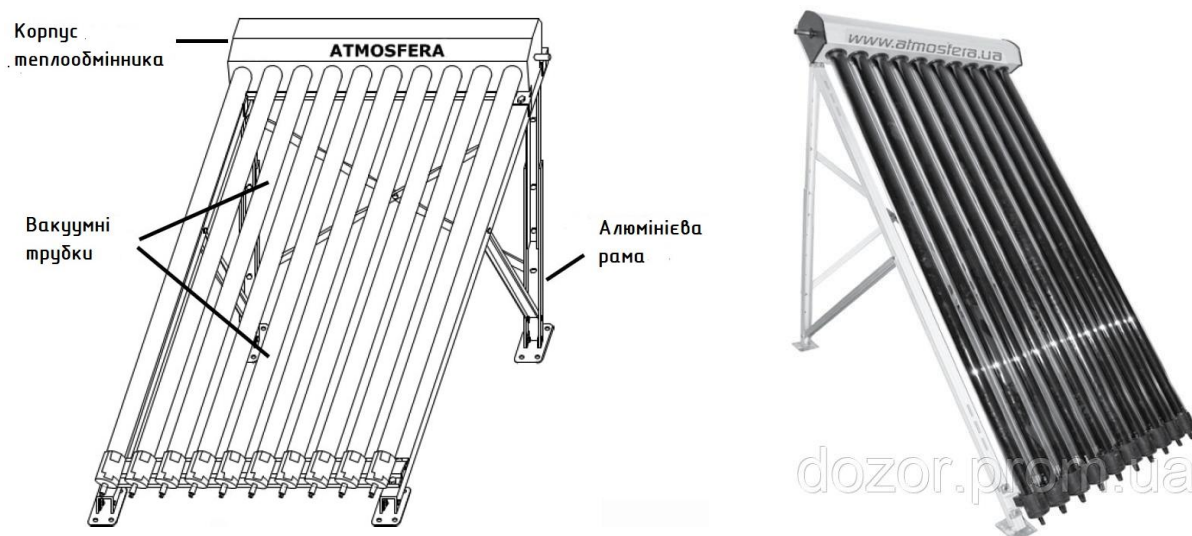


Рисунок 2.2 - Вакуумний сонячний колектор СВК-А 10

Геліосистеми ATMOSFERA вирізняються високою ефективністю, простим монтажем і зручністю експлуатації, тому вони широко застосовуються в різних регіонах України. Їх використовують у приватних будинках, навчальних закладах, готелях, санаторіях, магазинах та інших об'єктах. Вакуумні колектори ATMOSFERA працюють цілий рік у будь-якому кліматі, забезпечуючи нагрівання води та підтримку опалення. Вони можуть покривати від 30 % до 90 % потреб у гарячій воді та до 30 % опалення, зберігаючи продуктивність у літній і зимовий періоди. Системи служать до 25 років, знижують витрати на нагрів води та збільшують термін служби котлів, які влітку можна не використовувати [21].

Вакуумний сонячний колектор ATMOSFERA СВК-А 10 має 10 вакуумних трубок і продуктивність 2,55 кВт·год на день (пікова - 0,85 кВт·год). Його площа становить 1,7 м², абсорбера - 1,015 м², ємність - 0,71 л із покриттям Al-N/SS/Cu. Основні властивості: посилена термоізоляція,

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

МРМА24.00.00.000 ПЗ

Арк.
31

Продовження табл.2.1.

| | | |
|----|---|----------------|
| 4 | Тип вакуумної трубки | Heat-pipe |
| 5 | Принцип роботи | Під тиском |
| 6 | Тип колектора | Вакуумний |
| 7 | Кількість трубок, шт | 10 |
| 8 | Товщина скла, мм | 2,0 |
| 9 | Площа абсорбера, м ² | 1,6 |
| 10 | Мін. робоча температура навколишнього середовища, °С. | -50,0 |
| 11 | Макс. температура навколишнього середовища, °С | 85,0 |
| 12 | Ємність системи, л | 1,1 |
| 13 | Спосіб монтажу | горизонтальний |
| 14 | Макс. потужність, Вт | 1376,0 |
| 15 | Номінальний тиск, бар | 6,0 |
| 16 | Макс. тиск, бар | 8,0 |
| 17 | Коефіцієнт розсіювання, % | 5,0 |
| 18 | Коефіцієнт корисної дії, не менше, % | 95,0 |
| 19 | Коефіцієнт поглинання, % | 95,0 |
| 20 | Гарантійний термін, років | 12 |
| 21 | Термін експлуатації, років | 25 |
| 22 | Габаритні розміри: | |
| | - ширина, мм | 2000 |
| | - товщина, мм | 24,0 |
| | - вага, кг | 2,29 |
| | - довжина, мм | 1640 |

Продовження табл.2.1.

| | | |
|----|----------------------------|--------|
| 23 | Параметри трубок | |
| | - товщина стінки, мм | 1,5 |
| | - матеріал трубки | Мідь |
| | - матеріал покриття | нікель |
| | - довжина трубок, мм | 1800 |
| | - зовнішній діаметр трубок | 58 |

2.3 Вибір циркуляційного насоса для системи тепlopостачання

2.3.1 Теоретичні відомості

Циркуляційний насос забезпечує функціонування систем водопостачання та опалення, але його ефективність залежить від відповідності параметрам конкретної системи [22]. Основне завдання насоса - пропускати визначений об'єм води через труби, долаючи гідродинамічний опір. Головні параметри насоса:

- об'ємна подача - швидкість перекачування води, що вимірюється в кубічних метрах на годину;

- напір - висота, на яку насос піднімає воду, вимірюється в метрах [22].

Ці характеристики представлені у вигляді графіка в технічному описі, що дозволяє оцінити, чи відповідає насос вимогам конкретної системи. Правильний вибір насоса на основі цих параметрів гарантує ефективну, надійну й довговічну роботу систем водопостачання або опалення.

Для організації системи водопостачання або опалення спочатку вибирається теплогенератор з відповідною тепловою потужністю, а потім підбирається циркуляційний насос для забезпечення ефективної циркуляції теплоносія. Розрахунок подачі насоса має важливе значення для оптимізації теплового режиму системи, оскільки швидкість циркуляції води впливає на

ефективність передачі тепла від теплогенератора до теплоносія та на ступінь охолодження самого теплогенератора.

Основний параметр, що впливає на розрахунки, - це перепад температур між вхідним і вихідним контурами теплогенератора. Зазвичай цей перепад становить 20 °С, відповідно до українських стандартів, хоча в деяких країнах, таких як США та Канада, він може бути 15 °С, а в окремих системах досягати 30 °С. Розрахувавши теплову потужність та перепад температур, можна визначити об'ємну подачу циркуляційного насоса, що забезпечить оптимальну циркуляцію теплоносія і стабільний температурний режим системи [22].

Напір циркуляційного насоса створюється для подолання гідродинамічних втрат у трубах і з'єднаннях. Для розрахунку напору враховуються втрати, які залежать від діаметра труб (чим більший діаметр, тим менше тертя), та швидкість потоку води (чим вища швидкість, тим більший опір). Питомі втрати вимірюються в паскалях на метр трубопроводу (100 паскалів = 1 см водяного стовпа). Для оцінки відповідності насоса системі використовується графік "напір-подача" зі специфікації насоса.

Для систем водопостачання та опалення часто використовуються насоси Grundfos типу UPS з трьохступеневим регулюванням частоти обертання [23]. Для перекачування рідини в першому контурі був вибраний насос UPS Solar 25-65 130 (креслення [МРМА24.00.00.000ДІ2]).

Загальний вигляд циркуляційного насоса наведено на рисунку 2.3.

Насоси UPS Solar оснащені електродвигуном із мокрим ротором, без сальникових ущільнень і з двома ущільнювальними кільцями для герметичності [24]. Підшипники змащуються рідиною, що перекачується, що забезпечує безперервну експлуатацію без додаткового обслуговування [25].

Характеристики.

Підшипники: керамічні радіальні та осьовий підшипник з графіту.

Матеріали: нержавіюча сталь для гільзи ротора, щілинного

уцільнення та опорного підшипника, корозійностійке робоче колесо.

Сумісність: стійкість до гліколів, що дозволяє використовувати насос з незамерзаючими теплоносіями.

Корпус: чавун з катафорезним покриттям для захисту від корозії.



Рисунок 2.3 - Загальний вигляд циркуляційного насосу
UPS Solar 25-65 130 [26]

Призначені для циркуляції води в приватних будинках з сонячними системами підігріву. Ці насоси забезпечують високу ефективність і тривалий термін служби.

Технічні дані насоса UPS Solar:

- кількість швидкостей – 3;
- розрахована витрата - 0,812 м³/год;
- гідростатичний напір - 4,434 м;
- максимальний напір - 65 дм;
- TF-клас – 110;
- максимальний робочий тиск - 10 бар;
- вага - 2,6 кг.

Робоча рідина:

- тип: пропіленгліколь;
- температурний діапазон - 2–110 °С;
- концентрація - 50%;
- температура рідини - 60 °С.

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

МРМА24.00.00.000 ПЗ

Арк.
36

- щільність - 1016 кг/м³.

Ці характеристики підтверджують, що насос UPS Solar є оптимальним для систем із сонячними колекторами, забезпечуючи ефективну циркуляцію теплоносія за високих температур і тисків.

Криві характеристик циркуляційного насосу UPS Solar 25-65 130 наведено на рисунку 2.4 [27].

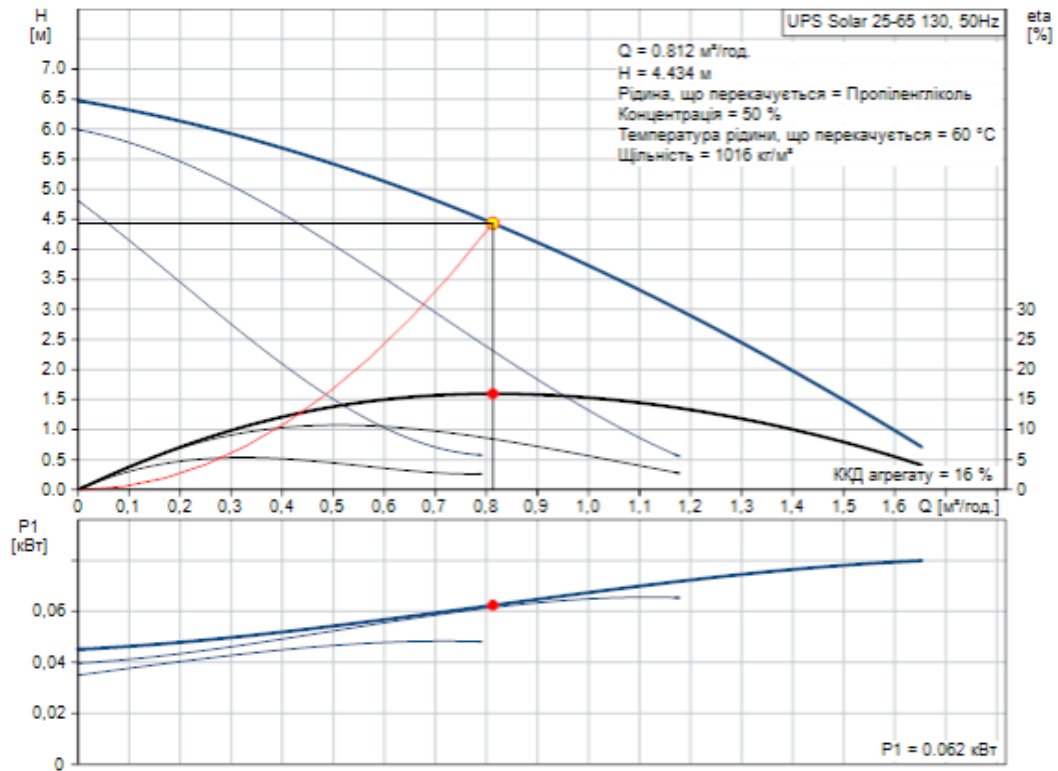


Рисунок 2.4 – Криві характеристик насосу циркуляційного UPS Solar 25-65 130

Для перекачування теплоносія в другому та третьому контурах обрано циркуляційний насос Grundfos UPS 15-40 130 [28]. Загальний вигляд насоса показано на рисунку 2.5 (креслення [МРМА24.00.00.000ДІ2], [МРМА24.00.00.000ГК]).

Насос має електродвигун з мокрим ротором і захищеним статором, без сальникових ущільнень, використовуючи два ущільнювальні кільця. Підшипники змащуються рідиною, що перекачується, що забезпечує надійність. Насос має триступінчастий перемикач частоти обертання.

Характеристики насоса:

- матеріали: керамічний вал, радіальні підшипники, осьовий підшипник із графіту, нержавіюча сталь для гільзи ротора та опорного підшипника, корозійностійке робоче колесо, чавунний корпус;
- двигун: однофазний електродвигун без додаткового захисту.

Ці характеристики роблять насос Grundfos UPS 15-40 130 оптимальним для систем із високими вимогами до довговічності, корозійної стійкості та ефективності роботи.



Рисунок 2.5 - Загальний вигляд насосу циркуляційного
UPS 15-40 130

Рідина:

- робоча рідина – вода;
- температура перекачуваної рідини - 60 °С;
- температурний діапазон - 2–110 °С;
- щільність: 983,2 кг/м³.

Технічні дані:

- гідростатичний напір - 2,091 м;
- розрахована витрата - 1,625 м³/год;
- ТФ-клас – 110;
- максимальний робочий тиск - 10 бар;
- максимальна температура навколишнього середовища (при

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

МРМА24.00.00.000 ПЗ

Арк.

38

температурі рідини 60 °С) - -40 °С.

- вага - 2,5 кг.

Дані електрообладнання:

- частота живлення - 50 Hz;
- потужність (швидкість 1) - 25 Вт;
- потужність (швидкість 2) - 35 Вт;
- номінальна напруга - 1 x 230 В;
- максимальна потужність - 45 Вт.
- струм (швидкість 1) - 0,12 А;
- струм (швидкість 2) - 0,16 А;
- струм (швидкість 3) - 0,2 А;
- клас захисту - IP44;
- конденсатор - 1,5 мкФ;
- клас ізоляції - F.

Криві характеристик циркуляційного насосу UPS 15-40 130 наведено на рисунку 2.6 (креслення [МРМА24.00.00.000ДІ2]) [29].

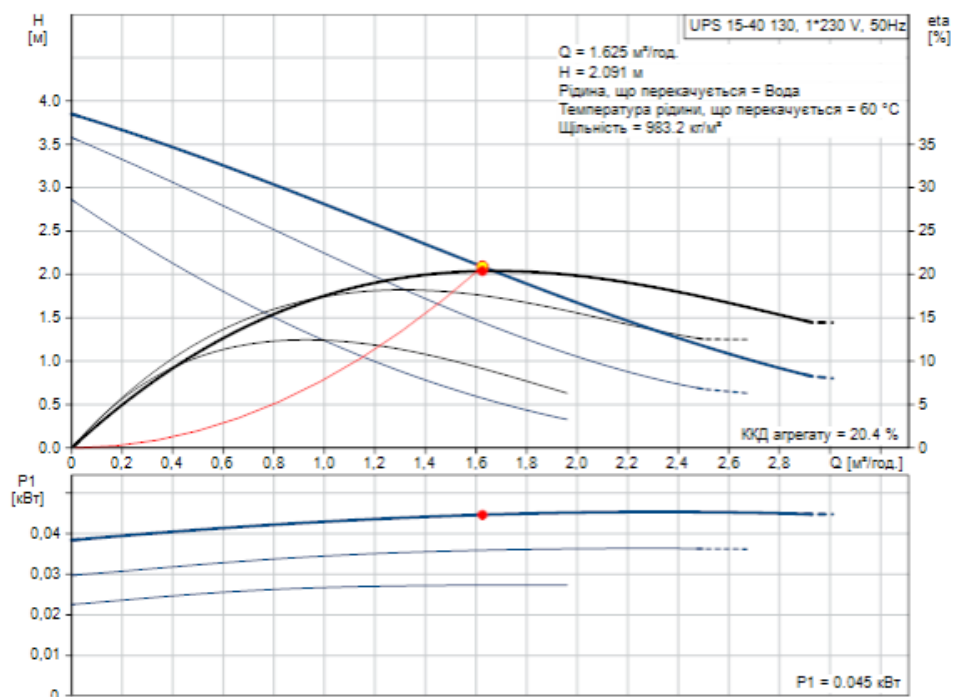


Рисунок 2.6 – Криві характеристик насосу циркуляційного UPS 15-40 130

2.4 Аналіз та вибір мембранного розширювального бака

2.4.1 Теоретичні відомості

Роль і типи розширювальних баків у системах опалення: вода, як нестислива рідина, розширюється при нагріванні, що може створити надмірний тиск у замкнутій системі опалення [30]. Для уникнення пошкоджень елементів системи використовуються розширювальні баки, які компенсують зміну об'єму води при температурних коливаннях.

Призначення - розширювальні баки мембранного типу:

- компенсують теплове розширення теплоносія;
- підтримують оптимальний тиск у системі.

Типи:

- відкриті баки - для систем із природною циркуляцією теплоносія;
- закриті баки - для систем із примусовою циркуляцією та відцентровими насосами.

Тип бака вибирається залежно від конструкції та вимог системи опалення.

Конструкція і принцип роботи розширювального бака [30].

Розширювальний бак складається зі сталевого корпусу, поділеного мембраною на дві порожнини. Порожнина для теплоносія - заповнюється водою або іншою рідиною з системи. Газова порожнина - заповнюється газом (азотом або повітрям).

Одна частина бака має штуцер для підключення до системи, інша - ніпель для вимірювання тиску та підкачування газу.

Принцип роботи.

При заповненні системи теплоносієм газ стискається, забезпечуючи динамічну рівновагу. При підвищенні температури теплоносія, його об'єм збільшується, і надлишок рідини потрапляє в бак, стискаючи газ. Коли

температура знижується, газ розширюється, компенсуючи зменшення об'єму теплоносія.

Особливості застосування.

Для систем з антифризами, які мають більший коефіцієнт розширення, необхідно встановлювати бак більшої ємності для компенсації змін об'єму теплоносія.

Закрита система зменшує контакт теплоносія з повітрям, що мінімізує корозійні процеси, що виникають при взаємодії води з атмосферним киснем. Це дозволяє продовжити термін служби системи опалення.

Герметичність закритого бака також сприяє зменшенню теплових втрат, оскільки система отримує кращу ізоляцію, що допомагає зберегти тепло. Завдяки відсутності проникнення повітря виключається утворення повітряних пробок, що може негативно впливати на циркуляцію теплоносія.

Важливим є також те, що закритий бак запобігає випаровуванню рідини, підтримуючи стабільний об'єм теплоносія. Це знижує потребу в частому підживленні системи та спрощує її експлуатацію.

Завдяки простоті конструкції і монтажу закриті баки є економічними в установці. Вони також можуть бути розташовані в будь-якому місці системи, що дозволяє більш гнучко проектувати систему.

Загалом, закриті розширювальні баки підвищують надійність та економічність системи, автоматизуючи процес і зменшуючи потребу в обслуговуванні. Розширювальні баки компенсують об'ємні зміни теплоносія, забезпечуючи стабільну роботу та захищаючи від аварій [31].

2.4.2 Підбір розширювальних баків

Для систем гарячого водопостачання та опалення обрано розширювальні баки Zilmet Solar-Plus (креслення [MPMA24.00.00.000PP]). Ці моделі спеціально розроблені для використання в сонячних системах і

сертифіковані для роботи в системах опалення.

Розширювальні баки оснащені мембранами Zilan™, які витримують температуру до +100 °С, що гарантує їхню надійність і довговічність в умовах високих температур [18].

Особливості:

- призначені для сонячних систем та опалення;
- стійкість до температур до +100 °С;
- сертифіковані для енергетичних систем.

Загальний вигляд бака Zilmet Solar-Plus показано на рисунку 2.7.



Рисунок 2.7 – Розширювальний бак Solar-Plus 12 л

Технічне креслення розширювального баку Solar-Plus 12 – 25 літрів наведено на рисунку 2.8 [32].

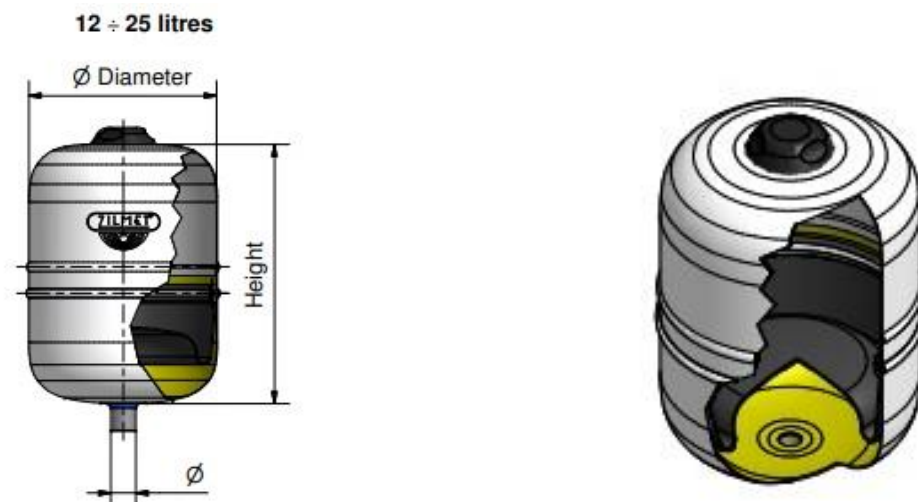


Рисунок 2.8 - Технічне креслення розширювального баку Solar-Plus
12 – 25 літрів

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

МРМА24.00.00.000 ПЗ

Арк.
42

Технічні характеристики розширювального бака Solar Plus 12 (артикул 11A2001210) [32].

- мембрана - максимальна робоча температура до +100 °С;
- система - максимальна робоча температура до +120 °С;
- тиск: встановлений - 2,5 бар, максимальний - 10 бар;
- об'єм - 12 літрів;
- габарити: діаметр - 270 мм, висота - 264 мм.

Для систем водопостачання та опалення обрано розширювальний бак Zilmet серії Cal-Pro об'ємом 35 літрів [33]. Ця модель гарантує стабільну роботу системи при змінних температурах і тисках.

Загальний вигляд бака Cal-Pro показано на рисунку 2.9 (креслення [МРМА24.00.00.000ДІЗ]).



Рисунок 2.9 - Бак розширювальний фірми Zilmet серії Cal-Pro об'ємом 35 літрів [33]

Розширювальні баки CAL-PRO використовуються для компенсації змін об'єму води в замкнених системах опалення, підтримуючи стабільний тиск і знижуючи енергоспоживання.

Технічні характеристики [33]:

- об'єм - 35 л;
- габарити: висота - 408 мм, діаметр - 404 мм.
- максимальний тиск - 4 бари;

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

МРМА24.00.00.000 ПЗ

Арк.
43

- робоча температура - -10 °С до +99 °С.

- матеріал корпусу: вуглецева сталь, мембрана - синтетичний каучук SBR.

Баки забезпечують ефективну роботу в системах опалення та водопостачання, відповідаючи стандартам надійності [34].

Баки-акумулятори використовуються в системах опалення, водопостачання та охолодження для збереження тепла, зокрема разом з теплообмінниками та котлами [35]. Вони продовжують термін служби джерел тепла, зменшуючи кількість циклів увімкнення котла. Важливо правильно розрахувати об'єм бака для ефективного акумулювання теплоносія.

Буферні ємності зберігають надлишкове тепло і поступово його використовують. Акумулюючі баки ефективні для твердопаливних котлів короткотривалого горіння, де тепло, що накопичується під час горіння, використовується протягом 3–4 годин після завершення процесу згорання, зменшуючи потребу в частому завантаженні палива.

Акумулюючий бак є важливим елементом у системах з різними типами теплогенераторів.

Для теплових насосів бак забезпечує накопичення та передачу тепла до опалювальної системи, підвищуючи ефективність роботи насоса. В електричних котлах акумулюючий бак дозволяє зберігати тепло під час дешевих нічних тарифів, що зменшує витрати енергії в денний час.

У газових котлах бак запобігає утворенню конденсату, покращує коефіцієнт корисної дії та накопичує тепло на період вимкнення котла. Великі ємності баків дозволяють зберігати тепло довше, забезпечуючи стабільний обігрів навіть при нерегулярній роботі котла.

Загалом, акумулюючі баки підвищують ефективність, зменшують енергоспоживання та збільшують термін служби обладнання.

2.5 Вибір акумулюючої ємності для системи

Акумулюючі ємності виготовляються з нержавіючої сталі або вуглецевого сплаву з використанням сертифікованих матеріалів і новітніх технологій. Їхні характеристики варіюються залежно від потреб користувача, включаючи розміри, товщину стінок, кількість теплообмінників і патрубків [36]. Ємності можуть бути оснащені термодатчиком для моніторингу температури.

Для теплоізоляції використовуються матеріали, такі як каучук, пінополіуретан, фліс і поролон. Після виготовлення баки проходять гідравлічні випробування при тиску 4,5 атмосфери. Завершується процес декоративним покриттям та обшивкою із синтетичної шкіри в будь-якому кольорі.

Ці властивості роблять акумулюючі баки надійними та ефективними для систем опалення та водопостачання.

Акумулюючі баки для систем опалення класифікуються за кількома критеріями [36]:

- тип конструкції: одноконтурні, багатоконтурні;
- кількість теплообмінників: без теплообмінників, з одним або більше теплообмінниками;
- вид: з тепловою ізоляцією, без теплової ізоляції;
- місце монтажу: для приміщення, для зовнішнього монтажу;
- технологічні процеси: для акумулювання енергії, підтримки стабільної температури, гарячого водопостачання;
- конфігурація: циліндричні, прямокутні.
- матеріал: з нержавіючої сталі, вуглецевої сталі, алюмінієвими елементами.

Класифікація залежить від використання та вимог системи [36].

При монтажі акумулюючих ємностей важливо підключати тепловий

акумулятор паралельно до теплогенератора для забезпечення ефективності роботи системи.

Обов'язковими елементами для підключення є циркуляційний насос, що забезпечує рух теплоносія між теплогенератором, баком і споживачами, розширювальний бак для компенсації теплового розширення, а також запірні апаратура для регулювання потоку теплоносія.

Для безпеки системи необхідно встановити манометр для контролю тиску, датчик температури для моніторингу температурного режиму, автоматичний клапан для відведення повітря та скидний клапан для захисту від перевищення тиску.

Принцип роботи акумулюючої ємності полягає в накопиченні теплоносія, нагрітого теплогенератором, з подальшим збереженням його температури. Коли теплогенератор вимкнений, теплоносій перекачується в систему за потреби [36].

На рисунку 2.10 наведено принцип роботи акумулюючого бака в системі опалення та гарячого водопостачання.

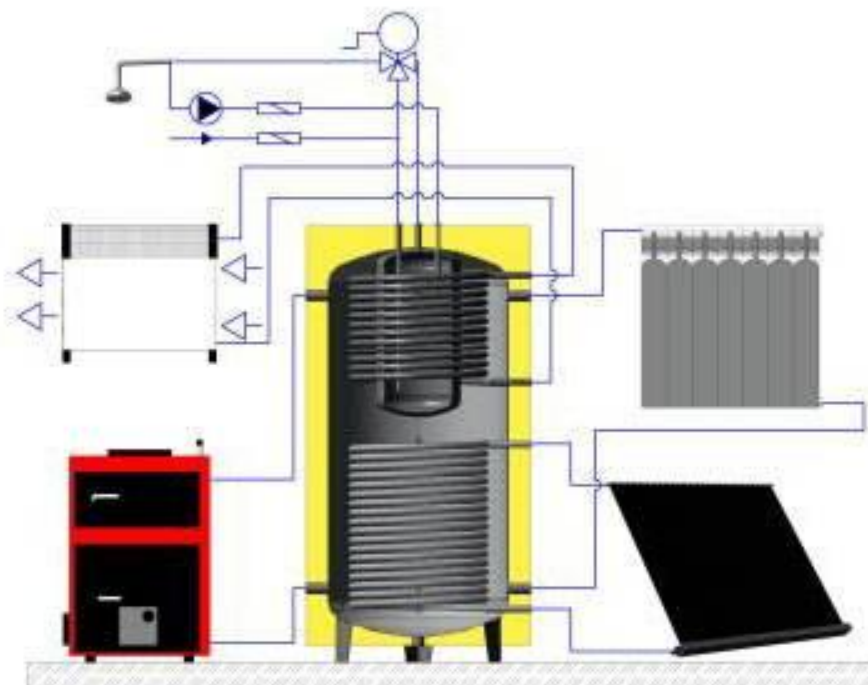


Рисунок 2.10 – Акумулююча ємність в системі гарячого водопостачання та опалення

Для системи гарячого водопостачання з сонячними колекторами була обрана буферна ємність VakiLux АБ-350. Модель не має теплообмінника, але оснащена ізоляцією для зменшення тепловтрат. Додатково ємність укомплектована манометром для контролю тиску, що забезпечує безпеку та ефективність експлуатації (рисунок 2.11) [37].



Рисунок 2.11 - Буферну ємність фірми VakiLux АБ-350 з ізоляцією та без теплообмінника

Акумулюючий бак «VakiLux» використовується для накопичення тепла від сонячних колекторів і може бути застосований в опалювальних системах з різними джерелами тепла, такими як газові, твердопаливні, електричні та рідкопаливні котли. Бак зберігає надлишкове тепло для подальшого використання, підвищуючи економічність та зручність експлуатації.

Технічні характеристики буферної ємності VakiLux АБ-350 [37]:

- діаметр з ізоляцією 700 мм, без ізоляції 500 мм;
- максимальна температура 100 °С;
- максимальний тиск 0,3 МПа;
- об'єм 350 л;
- вага 88 кг.

2.6 Підбір типу теплообмінника для системи

Теплообмінники "труба в трубі" використовуються в системах теплопостачання, особливо при низькій витраті енергоносія [38]. Вони мають двотрубну конструкцію з площею теплообміну до 2 м². Цілісні конструкції мають високу герметичність, але не рекомендуються при температурах понад 70 °С через ризик деформації. Розбірні моделі універсальні, з низьким опором потоку, що підвищує ефективність, і можуть адаптуватися до змінних умов. Розбірні теплообмінники підходять для систем із змінними умовами, а цілісні - для фіксованих.

Пластинчасті теплообмінники популярні завдяки високій ефективності. Вони складаються з металевих пластин, що забезпечують велику площу теплообміну до 800 м². Є три основні типи: розбірні (простота експлуатації та обслуговування), паяні (високий ККД, зручність монтажу) та напівзварні і зварні (регулювання теплопередачі, для агресивних середовищ).

Спіральні теплообмінники, що мають робочу поверхню з закручених сталевих стрічок, підходять для високих температур (до 200 °С) і використовуються в системах з високотемпературними процесами. Вибір типу теплообмінника залежить від умов експлуатації та температури середовища.

Теплове устаткування має різні варіанти, але оптимальним для житлових і виробничих приміщень є пластинчасті теплообмінники завдяки їхній високій ефективності та низьким вимогам до обслуговування [39]. Для системи гарячого водопостачання з сонячними колекторами вибрані паяні теплообмінники шведської компанії Swep, лідера в цій галузі. SWEP має підприємства в Німеччині, Швеції, Словаччині та Швейцарії, а також представництва в понад 20 країнах [40].

Теплообмінники SWEP мають низку переваг, зокрема компактність, простоту монтажу, малий об'єм, універсальність, міцність та герметичність,

що робить їх популярними в системах тепlopостачання та водопостачання. Вони забезпечують високу ефективність теплопередачі, мінімальні теплові втрати та самоочищення внутрішніх поверхонь.

Теплообмінники виготовлені з гофрованих пластин, що забезпечують оптимальні характеристики теплопередачі. Матеріал нікель робить їх стійкими до агресивних середовищ, а модульність конструкції дозволяє адаптувати їх до різних умов експлуатації (рисунок 2.12).

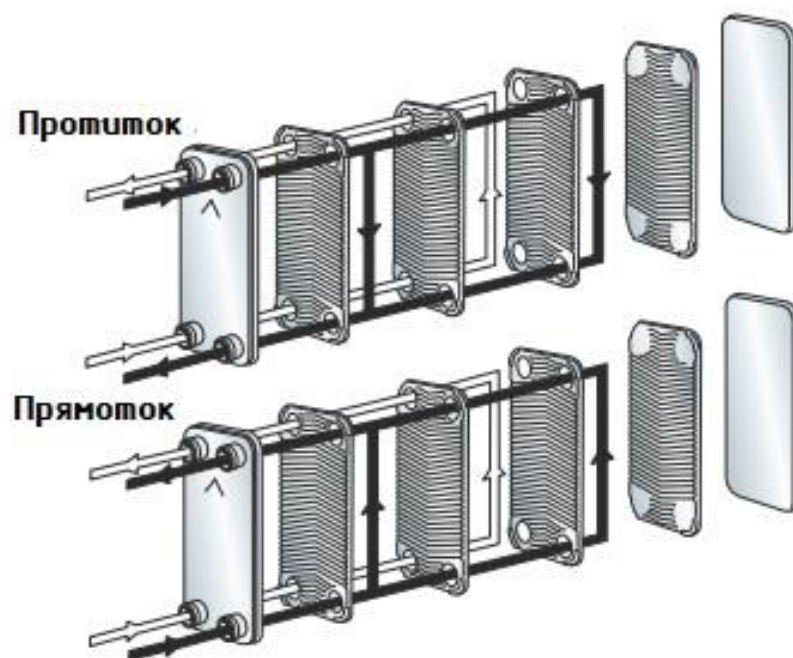


Рисунок 2.12 – Будова пластинчатого паяного теплообмінника

Робочі середовища для теплообмінника: фреон, вода, етиленгліколь, пар, масла, кислоти, нафта, харчові рідини тощо [39, 40]. Було обрано пластинчатий теплообмінник E5AS (рисунок 2.13).

Теплообмінники типу Е - ефективні та компактні паяні теплообмінники SWEP, оптимізовані для покращення теплопередачі. Вони підходять для систем із теплогенераторами, що працюють при низькому чи високому тиску, і для температур до 100 °С. Розроблені для газових котлів та сонячних колекторів, ці теплообмінники можна оснащувати різними сполуками для трубних фітингів, що спрощує монтаж. Вони поєднують

компактність, ефективність і адаптивність для енергозберігаючих систем тепlopостачання [39, 40].



Рисунок 2.13 - Теплообмінник пластинчатий E5AS [41]

Цей тип теплообмінника має технічні характеристики, які наведені в таблиці 2.2 (рисунок 2.14) [41].

Таблиця 2.2 - Технічні характеристики теплообмінника E5AS

| Розміри, мм | | | | | | | | Максимальна кількість пластин, шт | Площа пластин, м ² | Максимальна витрата, м ³ /год | Вага, кг |
|-------------|----|-----|----|----|---|---|----|-----------------------------------|-------------------------------|--|----------|
| A | B | C | D | E | F | G | R | | | | |
| 192 | 73 | 154 | 40 | 20 | 2 | 7 | 18 | 40 | 0,012 | 4 | 0,33 |

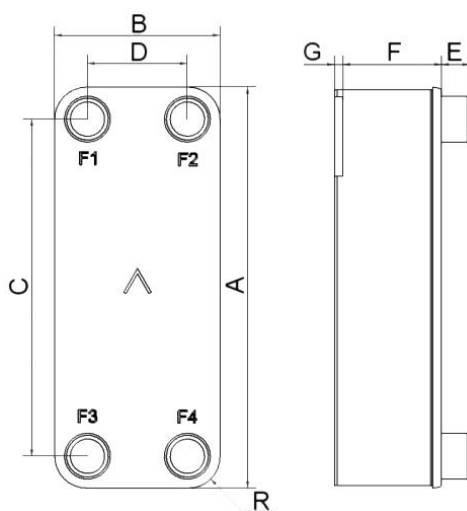


Рисунок 2.14 – Розміри теплообмінника E5AS [41]

2.7 Аналіз та підбір елементів регулюючо-запірної арматури

2.7.1 Термометр води

Для моніторингу температури води у четвертому контурі на вході та виході з теплообмінника встановлено два термометри Arthermo AR-T/B 65, що забезпечують точний контроль температурного режиму системи (рисунок 2.15) [42].



Рисунок 2.15 – Термометр води Arthermo AR-T/B 65

Аксіальні термометри Arthermo серії FIG.569 використовуються для вимірювання температури неагресивних рідин у системах опалення та гарячого водопостачання. Вони працюють на принципі біметалевого ефекту, що забезпечує високу точність і надійність вимірювань.

Технічні характеристики термометра Arthermo AR-T/B 65 включають аксіальний тип підключення та біметалевий принцип роботи. Діаметр виробу становить 65 мм, а ступінь захисту – IP 41. Корпус виготовлений з оцинкованої сталі, а довжина гільзи складає 50 мм. Термометр має клас точності 2 і призначений для вимірювання температури в системах опалення та гарячого водопостачання [42].

2.7.2 Радіальний термоманометр

Термоманометри дозволяють одночасно вимірювати температуру та

тиск у системах опалення та гарячого водопостачання. Вони підключаються до вузлів арматури, забезпечуючи реальний моніторинг параметрів системи. Радіальні термоманометри ARTHERMO використовуються для зняття показів температури та тиску, а також постачаються зворотним клапаном для демонтажу без впливу на роботу системи. Загальний вигляд термоманометра наведено на рисунку 2.16 [43].



Рисунок 2.16 – Радіальний термоманометр ARTHERMO

Технічні характеристики термоманометра ARTHERMO: корпус з ABS, ступінь захисту IP31, діаметр корпусу 80 мм, діапазон вимірювання тиску 0-4 bar, підключення клапана 1/4 «x 1/2», чутливий елемент – мідний сплав трубка Бурдона, циферблат білий з чорними поділками, діапазон вимірювання температури 0-120 °C.

Для підключення розширювальних баків до закритих опалювальних систем використовуються клапани з зливними кранами, які встановлюються на впуску бака, згідно зі стандартом DIN EN 12828. Ковпачок клапана та заглушка забезпечують захист від випадкового закриття, підвищуючи безпеку. Для технічного обслуговування бак можна спорожнити через зливний кран. В системі використано запірну апаратуру фірми Afriso, що відповідає технічним вимогам (рисунок 2.17) [44].

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

МРМА24.00.00.000 ПЗ

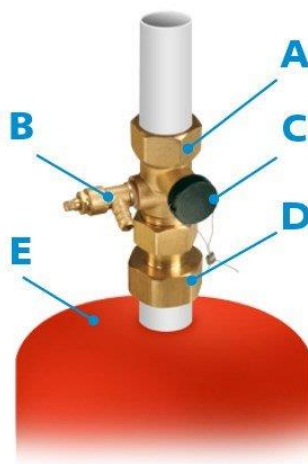
Арк.
52



Рисунок 2.17 - Клапан бака розширювального із зливним краном

Технічні характеристики клапана: матеріал - латунь, номінальний тиск - 10 бар, максимальна робоча температура - 120 °С, діаметр підключення - 3/4", робоче середовище - вода.

Закріплення клапана на розширювальному баку показано на рисунку 2.18 [45].



А - клапан ревізійний; В - клапан зливний; С - клапан запірний з кришкою і пломбою; D – швидко роз'ємне з'єднання; E - бак розширювальний.

Рисунок 2.18 – Клапан з баком розширювальним:

2.7.4 Автоматичний розповітрявач з відсічним клапаном

Для системи гарячого водопостачання та опалення обрано

розповітрявач автоматичний фірми Afriso (рисунок 2.19).



Рисунок 2.19 - Розповітрявач автоматичний з відсічним клапаном Afriso

Автоматичний розповітрявач Afriso призначений для видалення повітря з закритих систем гарячого водопостачання та опалення, запобігаючи утворенню повітряних пробок, що можуть порушити роботу системи та викликати корозію і кавітацію. Клапан автоматично випускає повітря під час заповнення, зливу та експлуатації системи, забезпечуючи її стабільну роботу [47].

Автоматичний розповітрявач Afriso має такі технічні характеристики: максимальний робочий тиск - 10 бар, максимальна температура - 110 °С. Поплавок виготовлений з тефлону, а основний матеріал - латунь.

2.7.5 Інша запірна арматура та фітинги

Для монтажу системи гарячого водопостачання використовувалась різна запірна арматура, зокрема кульові крани, які забезпечують контроль потоків теплоносія чи рідини. Матеріали виготовлення кранів — сталь та латунь.

Найпоширенішими видами кранів є кульові, крани з керамічними дисками та змішувачі з керуючими дисками. Кульові крани мають шток із сальником для герметичності, що дозволяє пропускати рідину під тиском при відкритті та утримувати її при закритті. Крани з керамічними дисками

працюють на основі двох дисків, що зміщуються при відкритті та закритті. Змішувачі регулюють потік рідини, забезпечуючи змішування води різних температур [47].

У даній системі застосовувалися кульові крани фірми «General fitting», які відзначаються надійністю та довговічністю (рисунок 2.20).



Рисунок 2.20 - Кульовий кран фірми «General fitting»

Компанія «General Fittings» є лідером у виробництві продукції для гідро-термічних сантехнічних систем. Вона фокусується на високій якості продукції та на екологічній безпеці, забезпечуючи сумісність своїх виробів із навколишнім середовищем. Компанія контролює весь виробничий процес, від розробки дизайну до доставки продукції, використовуючи інноваційні технології та системи управління виробництвом. Висока якість підтверджена сертифікацією ISO 9001 від SQS – IQNET [48].

Для монтажу системи було використано латунні фітинги компанії General Fittings, серед яких фільтри, монтажні коліна, муфти з різьбою, трійники та подовжувачі (рисунок 2.21) [49].



Рисунок 2.21 - Фітинги різьбові

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

МРМА24.00.00.000 ПЗ

Арк.
55

2.7.6 Мідна труба та фітінги

Для поєднання регулюючої та запірної апаратури в системі гарячого водопостачання та опалення застосовано мідну трубу КМЕ Sanco (тверда) (рисунок 2.22) [50].



Рисунок 2.22 - Мідна труба КМЕ Sanco

Мідна труба КМЕ Sanco виробляється в Німеччині з високоякісної міді (мінімум 99,90 %) і має низький вміст фосфору (0,015–0,040 %). Вона відповідає європейському стандарту DIN EN 1057, що гарантує її надійність і безпеку. На відміну від пластикових труб, мідні є екологічно чистими, оскільки не містять хімічних домішок.

Мідні труби КМЕ Sanco широко застосовуються в системах водопостачання, опалення, газопроводах, для транспортування рідкого палива та в сонячних колекторах. Завдяки своїй міцності і тривалому терміну служби, ці труби є універсальними і ефективними для монтажу різних систем [50, 51].

Мідні труби для систем водопостачання та опалення випускаються в діапазоні діаметрів від 6 до 267 мм і з товщиною стінок від 1 до 3 мм. Найпопулярніші діаметри для внутрішніх мереж - Ø 10, 12, 15 і 22 мм. Тверді мідні труби постачаються відрізками по 5 м.

Мідні труби стійкі до перепадів температур, не деформуються при замерзанні води або високих температурах (до 250 °С), витримують високий тиск. Наприклад, труби Ø 6 мм витримують до 200 бар, Ø 10 мм - до 111 бар,

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

Ø 15 мм - до 71 бар. Вони мають високу щільність (8920 кг/м³) і важчі за сталеві або пластикові труби.

Основні переваги мідних труб - це міцність, стійкість до ультрафіолету, довговічність, зручність монтажу (пайка, зварювання, фітинги) та бактерицидні властивості, що робить їх ідеальними для водопостачання та опалення [50, 51].

Для монтажу мідних труб важливо вибрати відповідні фітинги, що забезпечують герметичність і надійність з'єднань. Існують два основних типи фітингів: зварні та обтискні. Зварні фітинги використовуються для нероз'ємних з'єднань, забезпечуючи міцність і герметичність, що важливо для систем із високим робочим тиском. Обтискні фітинги створюють роз'ємні з'єднання, що дозволяє легко монтувати та демонтувати систему.

Вибір між цими типами залежить від вимог системи та умов експлуатації. Зварні фітинги гарантують постійну герметичність, а обтискні — зручність обслуговування та модифікації з'єднань [51].

Види фітингів для мідних труб.

Фітинги для мідних труб поділяються за призначенням і зовнішнім виглядом. До них належать кути, відводи, муфти, трійники, перехідники, штуцери і заглушки, що забезпечують зручність монтажу та естетичний вигляд системи, а також полегшують ремонт і обслуговування трубопроводів (рисунок 2.23).

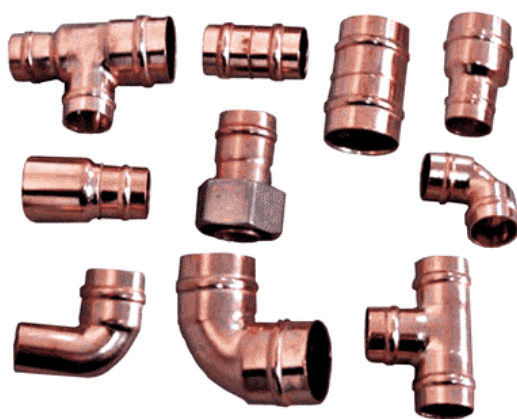


Рисунок 2.23 – Мідні фітинги

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

Для з'єднання мідних трубопроводів використовуються нероз'ємні та роз'ємні методи. Нероз'ємні з'єднання виконуються методом паяння (твердим або м'яким припоєм) або зварюванням для труб великого діаметра. Паяння є найбільш популярним і забезпечує герметичність та міцність з'єднання. Зварювання потребує спеціального обладнання та кваліфікації монтажника [51].

Роз'ємні з'єднання використовуються там, де необхідне розбирання трубопроводу. Обтискні фітинги забезпечують швидке та надійне з'єднання, а компресійні - герметичність, хоча розбір з'єднання не рекомендується без потреби. Різьбові фітинги дозволяють багаторазово збирати та розбирати трубопровід, підвищуючи герметичність з'єднання [51].

Вибір методу з'єднання залежить від умов експлуатації та технічних вимог.

2.8 Аналіз та підбір контролера для системи

Для регулювання температури теплоносія в системі сонячного колектора та буферної ємності використовувався контролер E813 компанії Euroster (Польща). Він контролює температуру сонячного колектора та до двох баків-акумуляторів, керуючи додатковим джерелом тепла, якщо енергії від сонячного колектора недостатньо. Контролер дозволяє налаштовувати інтервали часу для активації додаткового опалення, що підвищує ефективність системи [52].

E813 працює в одному з чотирьох режимів, які вибираються залежно від підключених датчиків. Кожному режиму відповідає окрема схема підключення, що спрощує налаштування та монтаж. Схема встановлення режимів зображена на рисунку 2.24 (креслення [МРМА24.00.00.000ДТ]).

Найважливіші запобіжні функції [52].

Захист від заїдання ротора насоса – функція активується щодня опівночі на 5 секунд, якщо температура опускається нижче за 15 °С.

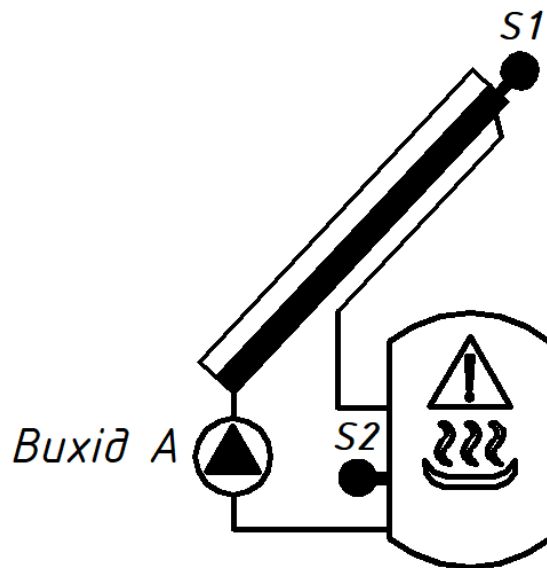
забезпечуючи стабільну роботу системи.

Анти-легіонелла – функція для термічної дезінфекції системи гарячого водопостачання, що активується при використанні додаткового джерела тепла. Дезінфекція триває до досягнення заданої температури.

Підсвічування дисплея – дисплей оснащений блакитним підсвічуванням, яке автоматично вимикається через 10 секунд після останнього натискання кнопки.

Опис режимів роботи [52].

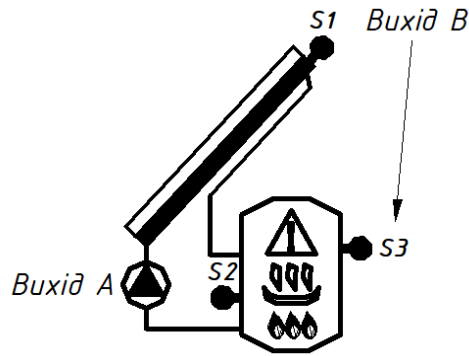
Режим 1. Робота з 1 баком-акумулятором (2 датчики) (рисунок 2.25).



S1 - датчик температури сонячного колектора; S2 - датчик температури бака-акумулятора; вихід А - поживний вихід насоса

Рисунок 2.25 - Робота з 1 баком-акумулятором (2 датчика):

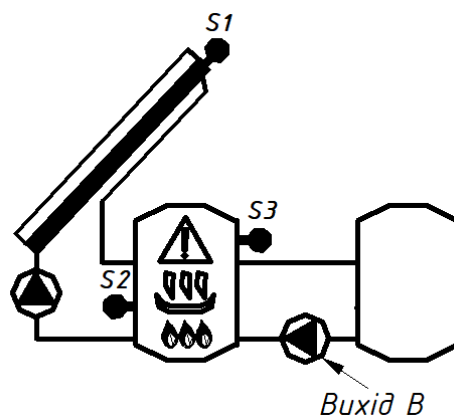
Режим 2. Робота з 1 баком-акумулятором і додатковим електричним нагрівачем (3 датчика) контура колектора (рисунок 2.26).



S1 - датчик температури колектора сонячного; S2 - датчик температури бака-акумулятора (розташований нижче S3); S3 - датчик температури бака-акумулятора (розташований вище S2); вихід А - вихід насоса живлячий контуру колектора; вихід В – вихід управління з додатковим джерелом тепла

Рисунок 2.26 – Робота з 1 баком-акумулятором і додатковим електричним нагрівачем (3 датчика) контуру колектора

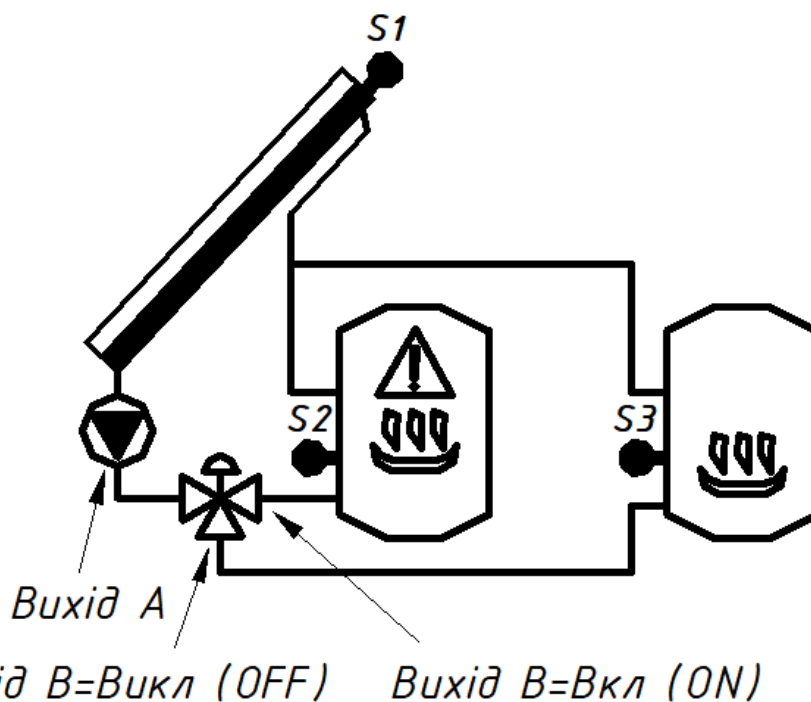
Режим 3. Робота з 1 баком-акумулятором та системою обігріву (3 датчика) зовнішньою (рисунок 2.27).



S1 - датчик температури колектора сонячного; S2 - датчик температури бака-акумулятора (розташований нижче S3); S3 - датчик температури бака-акумулятора (розташований вище S2); вихід А - вихід насоса живлячий контуру колектора; вихід В - вихід насоса живлячий зовнішньої системи обігріву.

Рисунок 2.27 - Робота з 1 баком-акумулятором і системою обігріву (3 датчика) зовнішньою:

Режим 4. Робота із 2 бойлерами ГВП і клапаном, що перемикається (3 датчика) (рисунок 2.28).



S1 - датчик температури колектора сонячного; S2 - датчик температури бойлера ГВП 1; S3 - датчик температури бойлера ГВП 2; вихід А - вихід живлення насоса колекторного контуру; вихід В - вихід живлення клапана, що перемикається.

Рисунок 2.28 - Робота із 2 бойлерами ГВП і клапаном, що перемикається (3 датчика)

Програмування командо-контролера [52].

Опис елементів дисплея представлено на рисунку 2.29) (креслення [МРМА24.00.00.000ДІ4]).

EUROSTER E813 має захист, що запобігає активації неправильного режиму через помилки підключення. У разі помилки на дисплеї з'являється повідомлення "Err". Для виправлення необхідно натискати кнопку "reset" або одночасно використовувати кнопки більше 5 секунд для переходу в режим налаштування параметрів [52].

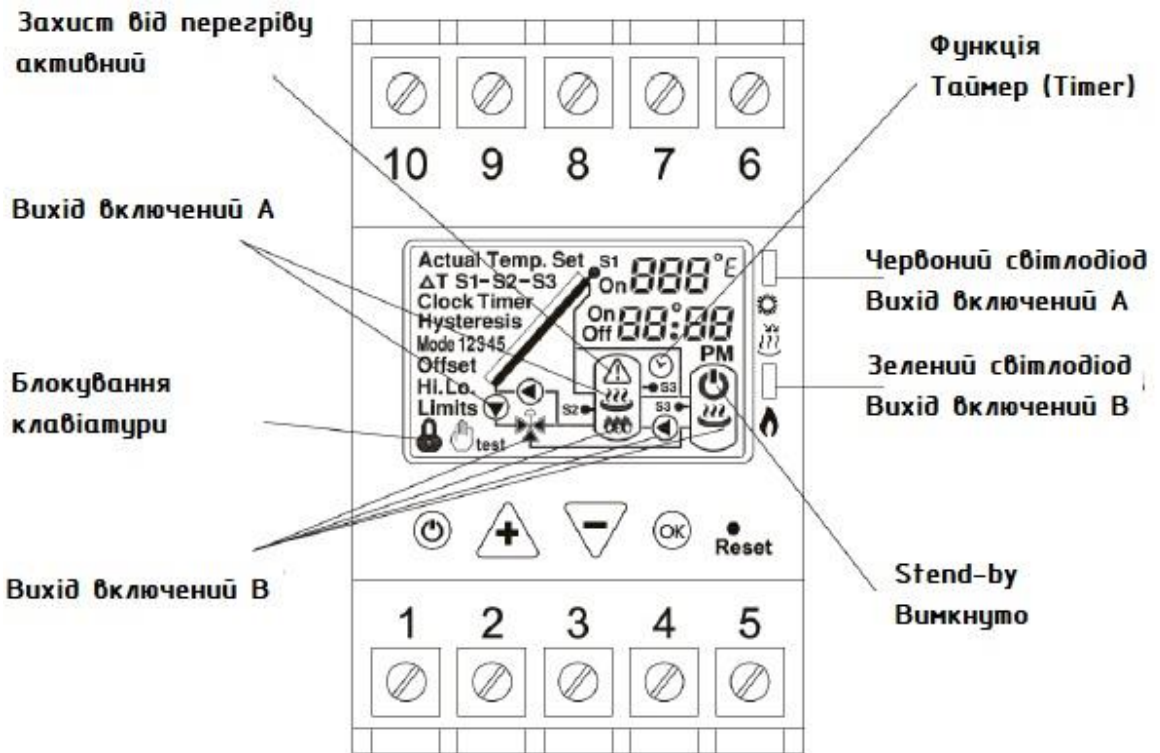


Рисунок 2.29 – Контролер EUROSTER E813

Монтаж командо-контролера [52].

Контролер встановлюється в місці з температурою до 40 °С, на рейку DIN довжиною 35 мм, переважно в захисній шафі для додаткової безпеки. Підключення кабелів здійснюється за схемою, наведеною на рисунку 2.30, з правильним маркуванням проводів: нейтральні провідники приєднуються до затискачів N, фазові - до L.

Датчики підключаються до контролера за схемою, наведеною на малюнку 2.30, без дотримання полярності проводів. Датчик температури колектора підключається до контактів 8 і 9. Максимальна довжина кабелів для підключення - 50 м, з поперечним перерізом 2x0,5 мм². Під час монтажу слід уникати паралельного прокладання кабелів датчиків з електропроводами під напругою та забезпечити надійні контакти для точної роботи системи [52].

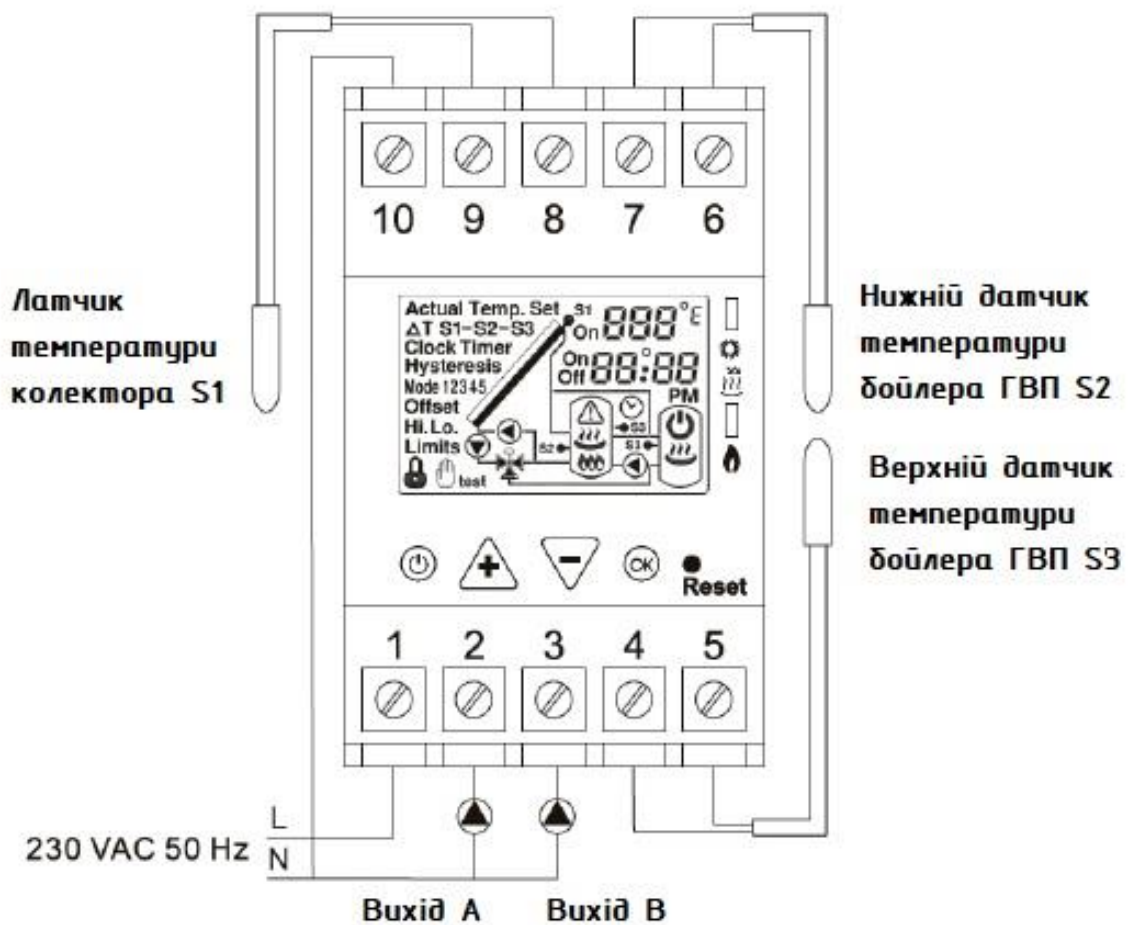
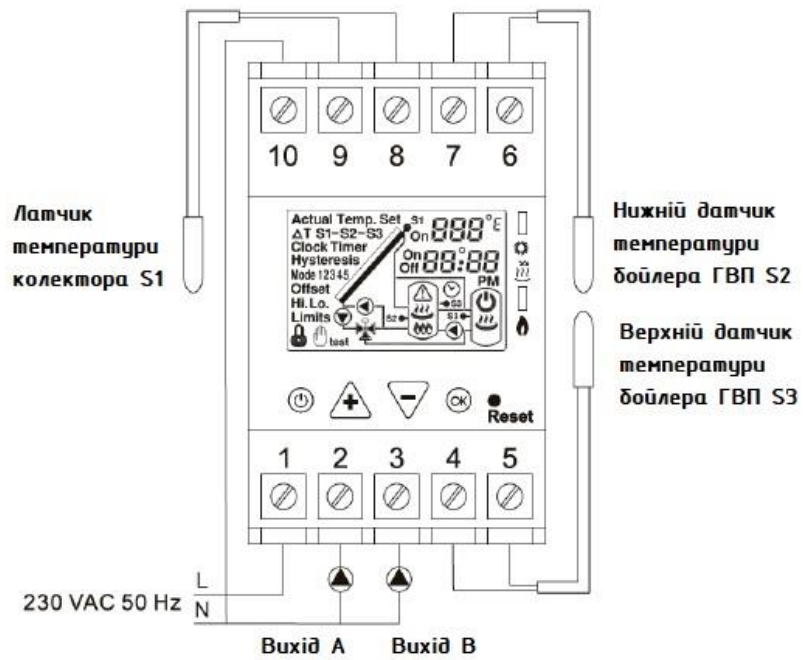


Рисунок 2.30 – Схема під'єднань до контролера E813

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

MPMA24.00.00.000 ПЗ

Арк.
64

Технічна характеристика контролера E813 включає такі параметри: електроживлення - ~ 230 В, 50 Гц, максимальне навантаження виходу А - ~ 230 В / 7 А, виходу В - ~ 230 В / 16 А, споживана потужність - 4 ВА. Розміри контролера складають 85,0 x 52,5 x 60 мм, довжина датчиків температури - 2 метра. Датчик температури колектора S1 має тип Pt1000 та діапазон відліку від -40 до 250 °С, датчики температури баків-акумуляторів S2 / S3 - NTC 10 кОм з діапазоном від -10 до 110 °С. Точність відліку становить $\pm 0,5$ °С.

2.9 Розробка комбінованої електричної схеми та підбір електрообладнання для системи ГВП

Розроблена комбінована електрична схема системи гарячого водопостачання зображена на рисунку 2.31 (креслення [МРМА24.00.00.000Е1]).

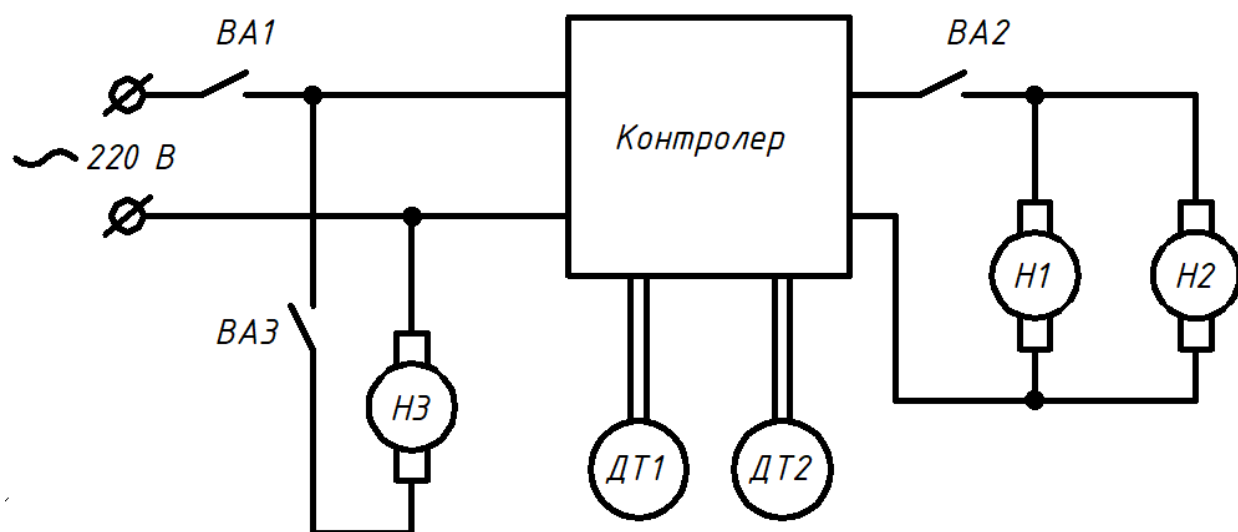


Рисунок 2.31 - Комбінована електрична схема системи гарячого водопостачання

Основними компонентами цієї електричної схеми є циркуляційні насоси (Н), автоматичні вимикачі (ВА), контролери та датчики температури. Система гарячого водопостачання отримує живлення від електричної мережі.

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

Для відключення у всій системі від електромережі використовується автоматичний вимикач ВА1. Контролер живеться одночасно від мережі 220 В і забезпечує живлення циркуляційних насосів Н1 та Н2. Відключення цих насосів від роботи мережі за допомогою автоматичного вимикача ВА2. Циркуляційний насос Н3 під'єднаний до електромережі через вимикач ВА3.

До контролера під'єднані два датчики температури, які забезпечують точний моніторинг температурного режиму, необхідного для ефективної роботи системи.

Для повного відключення системи гарячого водопостачання від електромережі було обрано автоматичний вимикач Hager MC110A. Загальний вигляд представлено на рисунку 2.32 [53].



Рисунок - Вимикач автоматичний Hager MC110A

Компанія Hager є провідним європейським виробником автоматичних вимикачів. Модель MC110A (рисунок 2.32) - однополюсний вимикач серії MC з відмикаючою здатністю 6 кА і номінальним струмом спрацьовування 10 А. Ці вимикачі захищають електричні мережі від перевантажень і коротких замикань, а пристрої з кривою типу С рекомендовані для кіл з приладами з підвищеним пусковим струмом.

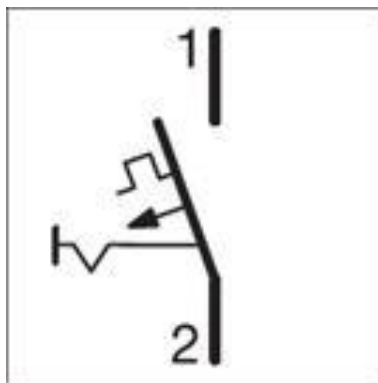


Рисунок 2.32 – Схема підключення вимикача автоматичного MC110A

Технічні характеристики автоматичного вимикача MC110A: відключаюча здатність - 6 кА, номінальний струм - 10 А, час-струмова характеристика - тип С, номінальна напруга - 230/400V, , клас селективності - 3, кількість полюсів - 1 (1 фаза) кількість циклів - понад 8000, ступінь захисту — IP20.

Для відмикання насосів Н1, Н2 і Н3 використано автоматичні вимикачі MC106A [53].

Автоматичний вимикач MC106A має наступні технічні характеристики: 1 полюс (1P), номінальний струм - 6А, тип напруги - АС, характеристика спрацьовування розчеплювача - тип С, відключаюча здатність - 6 кА.

2.10 Опис розробленої системи гарячого водопостачання та її елементів

На рисунку 2.32 (креслення [МРМА24.00.00.000ДІ5]) зображено фото встановленого сонячного колектора, що складається з вакуумних трубок (поз. 1), які поглинають енергію, каркасу (поз. 2), що забезпечує механічне кріплення трубок, та ізольованого трубопроводу (поз. 3).

На рисунку 2.33 зображено фото розробленої системи гарячого

водопостачання. Основними елементами запропонованої системи є: ємність буферна 1; баки розширювальні 2 і 3, теплообмінники 4 і 5, насоси циркуляційні 6 і 7, арматура запірна 8, мідний трубопровід 9, умивальник 10, система автоматичного управління 11.



1-вакуумні трубки, 2 - каркас, 3-ізолюваний трубопровід.

Рисунок 2.32 – Зовнішній вигляд сонячного колектора:

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

МРМА24.00.00.000 ПЗ

Арк.
68



1- ємність буферна; 2, 3-розширювальні баки; 4, 5-теплообмінники; 6,7-насоси циркуляційні; 8- арматура запірна; 9-мідний трубопровод; 10- умивальник; 11-система автоматичного управління.

Рисунок 2.33 - Система гарячого водопостачання з застосуванням сонячного колектора:

2.11 Створення лабораторної роботи для дослідження системи ГВП

Розроблено лабораторну роботу «Дослідження роботи всесезонної сонячної геліосистеми гарячого водопостачання з використанням вакуумного колектора» (додаток Б).

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

МРМА24.00.00.000 ПЗ

Арк.
69

Вона містить мету, теоретичні відомості, опис обладнання, порядок виконання та запитання для самоконтролю.

Робота призначена для підготовки студентів спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

2.12 Висновки до другого розділу

У другому розділі проводиться проектування системи теплопостачання з використанням сонячних колекторів. Розробляється гідравлічна схема установки, на основі якої обираються сонячний колектор, циркуляційний насос, мембранний розширювальний бак, буферна акумулююча ємність, теплообмінники, регулюючо-запірна арматура та контролер для керування. Також створюється електрична схема підключення елементів системи. Крім того, розробляється система гарячого водопостачання та лабораторна робота для підготовки студентів.

| | | | | | | |
|-----|------|---------|--------|------|---------------------|------|
| | | | | | МРМА24.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 70 |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата | | |

3 РОЗРАХУНКИ, ЩО ПІДТВЕРДЖУЮТЬ ПРАЦЕЗДАТНІСТЬ РОЗРОБЛЕНОЇ ГЕЛІОСИСТЕМИ

3.1 Розрахунок кутів нахилу та напрямку для максимального збору енергії сонячним колектором

У розрахунках враховується можливість зміни кута нахилення сонячного колектора до горизонту та азимутального кута розміщення сонячних колекторів.

Раціональне проектування геліосистеми для гарячого водопостачання потребує визначення оптимального кута нахилення колектора до горизонту. Цей кут має забезпечити максимальне вловлювання прямої та розсіяної сонячної енергії на поверхню колектора протягом усього розрахункового періоду роботи геліосистеми ΔN . Розрахунковий період може охоплювати як кілька днів, так і весь рік [54].

Повна інтенсивність сонячного випромінювання, що пропускається на нахилену площину колектора I , розраховується за допомогою відповідної формули, а саме:

$$I = I_t + I_i + I_d \quad (3.1)$$

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

I_d – інтенсивність відбитого випромінювання, Вт/м²;

I_t – інтенсивність прямого випромінювання, Вт/м².

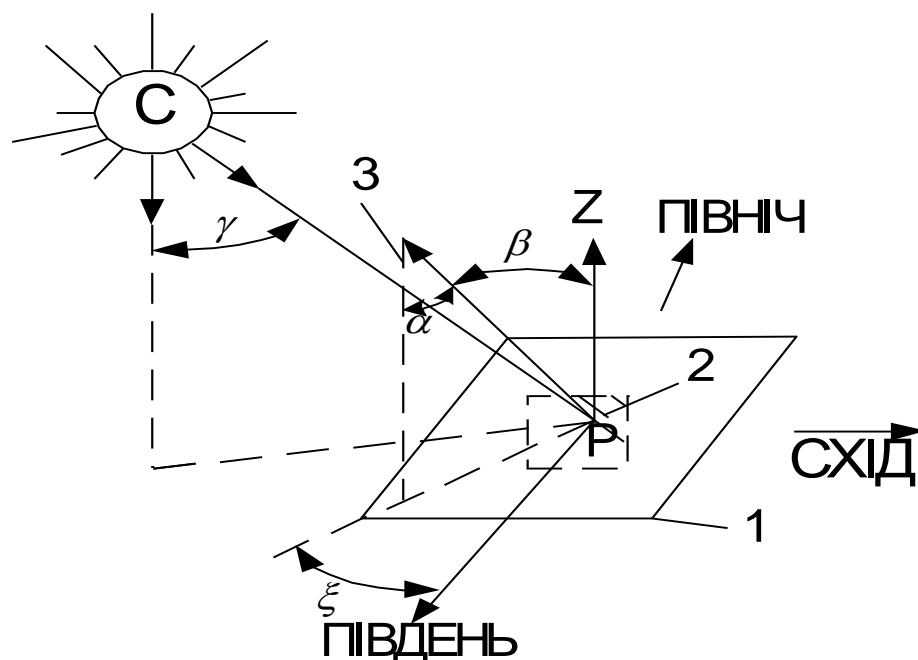
Інтенсивність прямого випромінювання на площину визначається наступним виразом:

$$I_t = I_{th} \cdot \frac{\cos \alpha}{\cos \gamma}, \quad (3.2)$$

де γ – зенітний кут, тобто кут між напрямом на Сонце і вертикаллю, град;

I_{th} – інтенсивність прямого випромінювання на поверхні Землі, Вт/м²;

α – кут падіння прямого сонячного випромінювання, що визначається між напрямком випромінювання і нормаллю до поверхні колектора, ° (рис. 3.1).



1 - площина горизонтальна; 2 - площина похила; 3 - нормаль до похилої площини; α - кут падіння прямого сонячного випромінювання; β - кут нахилу площини; γ - кут зенітний; ξ - кут площини азимутальний

Рисунок 3.1 – Сонячні і поверхневі кути для поверхні похилої:

Зенітний кут визначається із наступної формули [54]:

$$\cos \gamma = \sin \delta \cdot \sin \varphi + \cos \delta \cdot \cos \varphi \cdot \cos \psi, \quad (3.3)$$

де φ - широта місцевості (для міста Хмельницького $\varphi = 49^\circ 24'$ град);

δ - нахил Сонця, (кутове положення Сонця стосовно площини земного екватора, град);

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

Значення нахилу залежить від пори року та дня року, для якого відбувається розрахунок.

Орієнтовну величину схилення можна знайти за такою формулою:

$$\delta = 23,45 \cdot \sin\left(360 \cdot \frac{284 + n}{365}\right), \quad (3.4)$$

де n - порядковий номер дня в році, n лежить від 1 до 365.

Кут падіння прямого сонячного випромінювання можна обчислити за формулою:

$$\cos\alpha = \sin\delta \cdot \sin\varphi \cdot \cos\beta - \sin\delta \cdot \cos\varphi \cdot \sin\beta \cdot \cos\xi + \cos\delta \cdot \cos\varphi \cdot \cos\beta \cdot \cos\psi + \cos\delta \cdot \sin\varphi \cdot \sin\beta \cdot \cos\xi \cdot \cos\varphi + \cos\delta \cdot \sin\beta \cdot \sin\xi \cdot \sin\psi \quad (3.5)$$

де ξ - кут азимутальний площини, тобто відхилення нормалі площини від місцевого меридіана (у південному напрямку відхилення до сходу приймається позитивним, до заходу - негативним), град (рис. 3.1).

Під час розрахунку інтенсивності розсіяного випромінювання встановлено, що воно рівномірно розподілене по поверхні Землі. У такому випадку величина випромінювання, яке падає на нахилену поверхню, залежить тільки від тієї частини небосхилу, яка розташована навпроти площини [54]. Тоді:

$$I_i = I_{in} \cdot \frac{1 + \cos\beta}{2}, \quad (3.6)$$

де β - кут між розглянутою площиною і горизонтальною поверхнею, град (рис. 3.1);

I_{th} - інтенсивність розсіяного випромінювання на поверхні Землі, Вт/м².

Інтенсивність відбитого випромінювання визначається відбивною здатністю поверхні. Вважається, що відбивання від Землі та розташованих на ній об'єктів рівномірно розподілене. У такому випадку відбита складова інтенсивності випромінювання нахиленої площини залежить від площі, що звернена до Землі, та кількості випромінювання, яке ця площа здатна поглинути [54]:

$$I_d = (I_{th} + I_{in}) \cdot \frac{1 - \cos \beta}{2} \cdot \zeta \quad (3.7)$$

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

На основі зазначених принципів повна інтенсивність випромінювання, що падає на похилу поверхню, створюється як сума складових: прямого, розсіяного та відбитого випромінювання, враховуючи їх вплив та відповідні геометричні параметри поверхні і визначається:

$$I = I_{th} \cdot \left(\frac{\sin \delta \cdot \sin \varphi \cdot \cos \beta - \sin \delta \cdot \cos \varphi \cdot \sin \beta \cdot \cos \xi + \cos \delta \cdot \cos \varphi \cdot \cos \beta \cdot \cos \psi}{\sin \delta \cdot \sin \varphi + \cos \delta \cdot \cos \varphi \cdot \cos \beta \cdot \cos \psi} \right) + \\ + \left(\frac{\cos \delta \cdot \sin \varphi \cdot \sin \beta \cdot \cos \xi \cdot \cos \varphi + \cos \delta \cdot \sin \beta \cdot \sin \xi \cdot \sin \psi}{\sin \delta \cdot \sin \varphi + \cos \delta \cdot \cos \varphi \cdot \cos \beta \cdot \cos \psi} \right) + I_{in} \cdot \left(\frac{1 + \cos \beta}{2} \right) + \\ + (I_{th} + I_{in}) \cdot \left(\frac{1 - \cos \beta}{2} \right) \zeta \quad (3.8)$$

Для сонячних установок для нагрівання води цікавими є два типи систем. Перший тип має кілька робочих поверхонь, розташованих симетрично, наприклад, на двосхилих дахах. Другий тип складається з однієї робочої поверхні.

Для систем першого типу, з чотирма робочими площинами,

розташованими симетрично (по дві на кожному схилі), азимутальні кути площин забезпечують симетричну орієнтацію. Їхній азимутальний кут рівняється:

$$\xi_1 = \xi_2 = \xi_3. \quad (3.9)$$

Для інших поверхонь складе:

$$\xi_3 = \xi_4 = \xi + 180^\circ \quad (3.10)$$

Визначимо оптимальний азимутальний кут, за якого установка отримає максимальну кількість енергії випромінювання. Загальна інтенсивність випромінювання, яку поглинає сонячна установка з чотирма поверхнями буде рівнятися:

$$I_n = \sum_{i=1}^n I_i, \quad (3.11)$$

де I_i - повна інтенсивність випромінювання, що надходить на кожную поверхню, Вт/м ;

I_n - інтенсивність випромінювання, що надходить на установку, Вт/м².

Щоб отримати оптимальне значення азимутального кута, першу частину похідної рівняння (3.10) слід прирівняти до нуля [54]. Тоді:

$$\frac{dI_n}{d\xi} = 0 \quad (3.12)$$

Зазначимо, що для визначення оптимального азимутального кута достатньо відмітити два варіанти орієнтації сонячних генераторів, які

відповідають рівням (3.9) і (3.10). Ці випадки охоплюють можливість симетричного розташування робочих площ, забезпечуючи максимальне вловлювання сонячного випромінювання залежно від умов освітлення.

Розв'язуючи рівняння (3.11) разом з (3.12), було отримано:

$$\frac{dI_n}{d\xi} \equiv 0. \quad (3.13)$$

Це вказує на те, що сонячний пристрій із симетрично розташованими робочими поверхнями може бути орієнтований на земну поверхню вільним чином.

Відповідно $\xi = 90^\circ$.

Для визначення оптимального кута нахилу робочих поверхонь було прирівняно до нуля частинну похідну по:

$$\frac{dI_n}{d\beta} = 0. \quad (3.14)$$

Розв'язуючи рівняння (3.14) разом зі (3.8) та (3.12, 3.10), було отримано:

$$\arctg\beta = \frac{1}{\left[1 + \frac{1}{2}(k - \zeta - k\zeta)\right] \cdot \left(\frac{\sin\delta \cdot \sin\varphi}{\cos\psi_0} + \cos\delta \cdot \cos\varphi\right)}, \quad (3.15)$$

де ψ_0 - час сонячний, при якому сонячний колектор отримує найбільшу кількість сонячної енергії, град;

k - відношення інтенсивності прямого та розсіяного випромінювань.

Розрахунок установок сонячних другого типу проводиться аналогічно.

Здійснимо розрахунок азимутального оптимального кута. Розв'язуючи рівняння (3.15), у якому $k = 1$, разом з (3.8), було отримано:

$$\operatorname{tg}\beta = \frac{\cos \delta \cdot \sin \psi}{\cos \delta \cdot \sin \varphi \cdot \cos \psi - \sin \delta \cdot \cos \varphi}. \quad (3.16)$$

Знаходимо оптимальний кут нахилу, використовуючи формулу:

$$\operatorname{arctg}\beta = \frac{\operatorname{tg}(\varphi - \delta + \psi_0)}{1 + \frac{1}{2}(k - \zeta - k\zeta)}. \quad (3.17)$$

Знайдемо такий кут для найбільш сонячного дня року (22 червня).

Тоді:

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

Підставляючи дані у вираз 3.20 було отримано:

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

З кінцевої формули для визначення кута нахилу колектора видно, що він залежить від широти місцевості, схилення Сонця, дня року та сонячного часу. Підставивши у формулу (3.17) відомі астрономічні величини [54] і скориставшись електронними таблицями OpenOffice Calc, можна розрахувати кути нахилу колектора для кожного місяця року [55]. Отримані дані заносимо в таблицю 3.1 і будемо графік залежності оптимального кута від місяця року (рисунок 2.2).

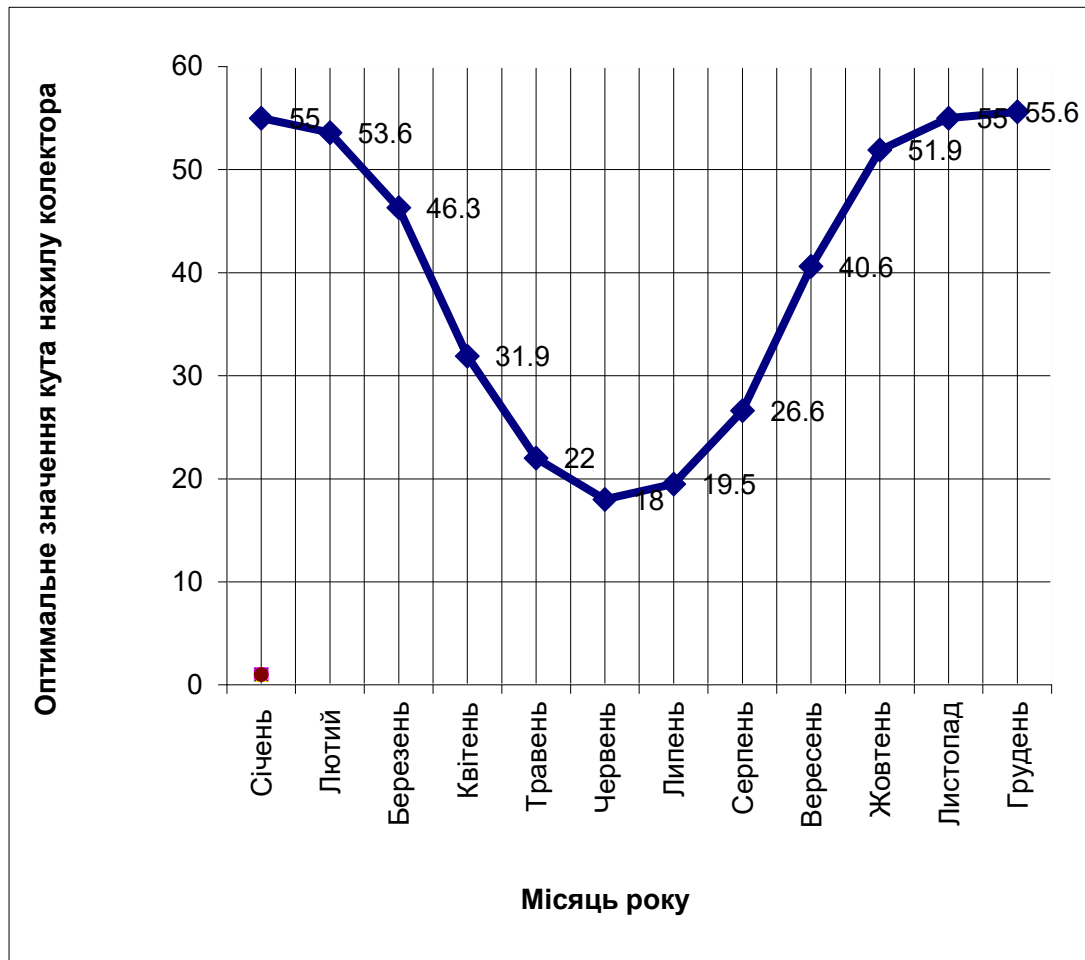


Рисунок 2.2 - Графік залежності кута оптимального від місяця року

Для знаходження максимального надходження сонячного випромінювання на нахилу поверхню, підставимо дані у вираз (3.8) і занесемо їх у табл. 3.1.

Для прикладу знайдемо сумарну сонячну радіацію для дати 22 червня.

Годинний кут для зазначеного числа буде рівнятися:

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

$$I = 5,92 \cdot \left(\left(\frac{\sin 17,7 \cdot \sin 49,2 \cdot \cos 18,3 - \sin 17,7 \cdot \cos 49,2 \cdot \sin 18,3 \cdot \cos 0}{\sin 17,7 \cdot \sin 49,2 + \cos 17,7 \cdot \cos 49,2 \cdot \cos 18,3 \cdot \cos 114} + \frac{\cos 17,7 \cdot \cos 49,2 \cdot \cos 18,3 \cdot \cos 114}{\sin 17,7 \cdot \sin 49,2 + \cos 17,7 \cdot \cos 49,2 \cdot \cos 18,3 \cdot \cos 114} \right) + \left(\frac{\cos 17,7 \cdot \sin 49,2 \cdot \sin 18,3 \cdot \cos 0 \cdot \cos 49,2 + \cos 17,7 \cdot \sin 18,3 \cdot \sin 0 \cdot \sin 114}{\sin 17,7 \cdot \sin 49,2 + \cos 17,7 \cdot \cos 49,2 \cdot \cos 18,3 \cdot \cos 114} \right) \right) + 1,92 \cdot \left(\frac{1 + \cos 18,3}{2} \right) + (5,92 + 1,92) \cdot \left(\frac{1 - \cos 18,3}{2} \right) \cdot 0,27 =$$

$$= 6,87 \text{ кВт год/м}^2 \text{ добу}$$

Таблиця 3.1 – Знаходження оптимальних параметрів сонячного колектора

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

Для визначення змін у надходженні сонячного випромінювання на

похилу поверхню протягом дня було використано програмне забезпечення NeoHeatingPro [55]. Розрахунки виконувалися з урахуванням відомих астрономічних параметрів [54]. На основі отриманих даних побудовано графіки залежності інтенсивності випромінювання для трьох вибраних місяців: січня, червня та жовтня (рисунок 3.2).

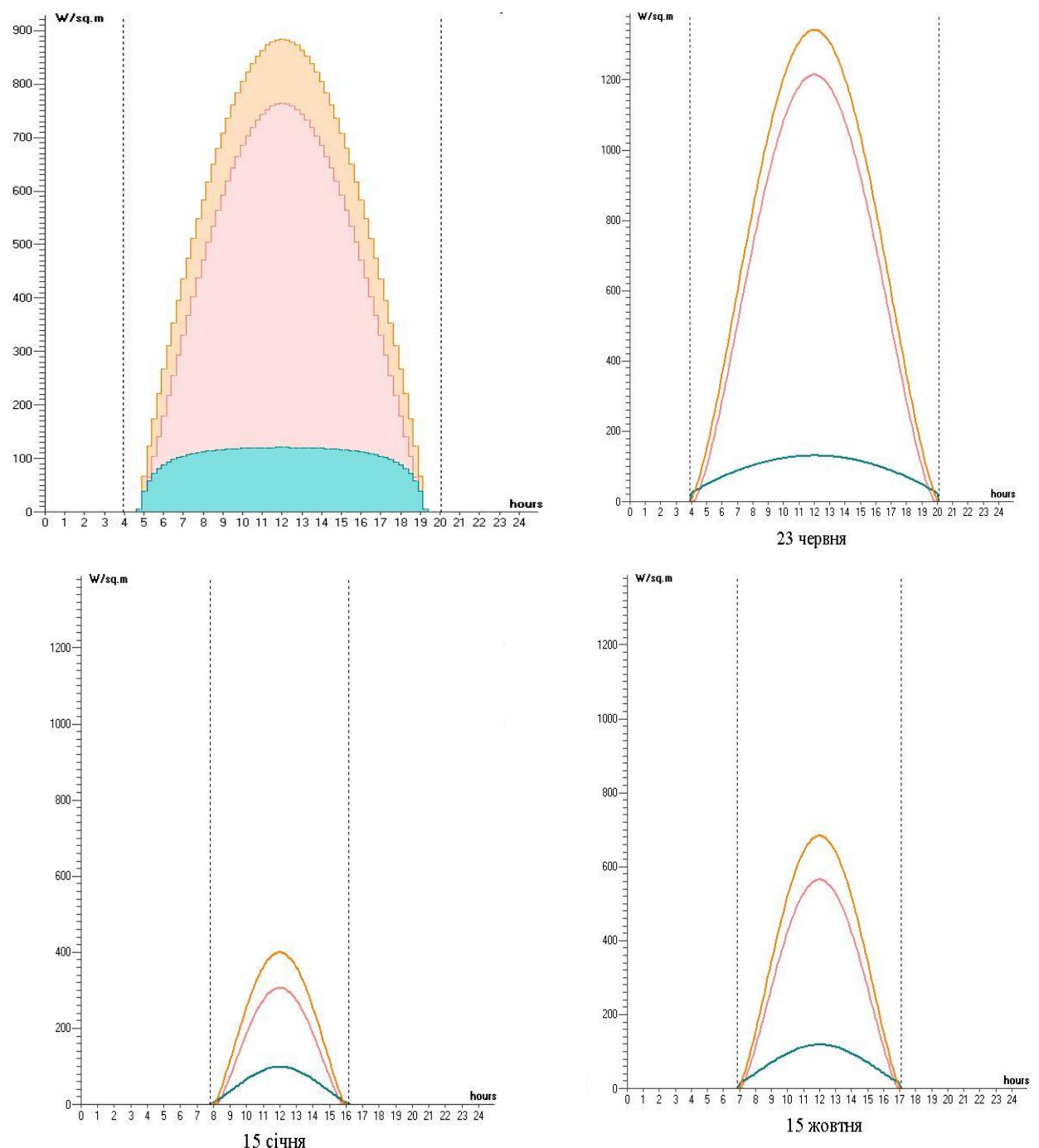


Рисунок 3.2 – Графік надходження випромінювання на похилу поверхню протягом дня

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

МРМА24.00.00.000 ПЗ

Арк.
80

У програмі NeoHeatingPro реалізований алгоритм, що дозволяє динамічно моделювати зміни кількості енергії, який сприйме сонячний колектор в залежності від часу, положення у просторі. Вона працює **онлайн** через Інтернет.

3.2 Розрахунок основних характеристик сонячного колектора і буферної ємності

3.2.1 Загальна інформація

У технічній літературі [54] наведено методику динамічного визначення кількості сонячної радіації, яка потрапляє на довільно орієнтовану поверхню в будь-який момент часу для заданого регіону. Метод базується на сонячній константі - кількості енергії, що надходить від Сонця на Землю (1362 Вт/м^2). Для Хмельницького розраховуються потоки прямої, розсіяної та сумарної радіації, а також оптимальні кути нахилу колектора залежно від пори року. Ці дані дозволяють визначити площу колекторів, необхідну для нагрівання води.

Для визначення оптимальної площі було використано алгоритм, взятий із технічної літератури.

1. Визначення кількості споживачів гарячої води та орієнтовної потреби у гарячій воді для них усіх.
2. Розрахунок об'єму буферної ємності.
3. Знаходження бажаного ступеня заміщення потреб в теплі, використовуючи енергію Сонця.
4. Знаходження регіону України, де планується встановлення системи.
5. Розрахунок оптимального кута нахилу сонячних колекторів.
6. Знаходження оптимальної орієнтації сонячних колекторів.

7. Знаходження необхідної площі сонячних колекторів.

3.2.2 Визначення кількості споживачів гарячої води

Розрахунки проводяться для співробітників кафедри машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем.

Загальну кількість води можна знайти за виразом:

$$m = L \cdot R + n \cdot S \quad (3.18)$$

де L - кількість споживачів води; $L = 20$ осіб;

R - середні затрати теплої води на 1 споживача; $R = 15$ літрів.

n - кількість другорядних споживачів: технологічні машини, пральні машини $n = 2$.

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

$$m = 20 \cdot 15 + 1 \cdot 30 = 330 \text{ літрів}$$

Знайдемо потрібну кількість тепла на потреби гарячого водопостачання Q , кВт/м² із формули:

$$Q = m \cdot \Delta t \cdot c, \quad (3.19)$$

де Δt - різниця температур гарячої та холодної води, С⁰;

$$\Delta t = t_{\text{спож}} - t_{\text{мережі}} = 65 - 15 = 40 \text{ С}^0,$$

$t_{\text{мережі}}$ - температура води, яка надходить з водогону в домашню

систему, $t_{мережі} = 15 \text{ C}^0$;

$t_{спож}$ - температура використання води, $t_{спож} = 55 \text{ C}^0$;

c - теплоємність води $1,163 \text{ Втгод/м}^3 \text{ C}^0$.

Тоді:

$$Q = 340 \cdot 40 \cdot 1,163 = 15816,8 \text{ Вт} \cdot \text{год} / \text{день} = 15,8 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{день}.$$

При перерахуванні на 365 днів, щорічна потреба у гарячій воді буде складати: $Q_{рік} = 5773,13 \text{ кВт год/рік}$.

3.2.3 Визначення об'єму потрібної кількості нагрітої води

Об'єм бака накопичення у першому наближенні було вибрано, так щоб він вмщував 3-4 денну норму витрат води на одну особу. Тобто:

$$V_{бака} = 2,5 \cdot R, \quad (3.20)$$

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

В подальших розрахунках уточнюється об'єм накопичувального бака залежно від площі геліоколектора [54].

Ступінь заміщення геліоустановки вибрано 50%, в зв'язку з тим, що вона буде використовуватися тільки для підігріву води.

Регіон розміщення установки наближений до південного (тобто Хмельниччина). В зв'язку з цим поправочний коефіцієнт на хмарність не використовується.

3.2.3 Визначення площі сонячного колектора

Площа поверхні колекторів F знаходиться із виразу:

$$F = \frac{m}{\sum g_i} \quad (3.21)$$

де m - добові витрати гарячої води в системі гарячого водопостачання, прийнято за СНіП 2.04,01-85; $m = 60$ літрів;

i - розрахункові години роботи установки;

g_i - продуктивність установки годинна, віднесена до 1 м^2 поверхні сонячного колектора, $\text{кг}/\text{м}^2$.

Годинна продуктивність установки знаходиться наступним чином:

$$g_i = \frac{0,86U}{\ln \frac{t_{\max i} - t_1}{t_{\max i} - t_2}} \quad (3.22)$$

де U - наведений коефіцієнт тепловтрат сонячного колектора ($8 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \text{ (К)})$ для односклових колекторів та $5 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \text{ (К)})$ - для двохсклових);

t_1 , t_2 - температури теплоносія на вході і на виході колектора, $^\circ\text{C}$.

Температура на вході t_2 знаходиться із залежності:

$$t_2 = t_{w2} + 5, \quad (3.23)$$

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

Підставивши значення отримаємо:

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

Температура на вході знаходиться за наступною формулою:

| | | | | | | |
|-----|------|---------|--------|------|---------------------|------|
| | | | | | МРМА24.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 84 |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата | | |

$$t_1 = t_{w2} + 5. \quad (3.24)$$

Підставивши значення отримаємо:

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

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

В одно контурних системах буде $t_1 = t_{w1}$ і $t_2 = t_{w2}$.

Рівноважна температура кожної години $t_{\max i}$ знаходиться наступним чином:

$$t_{\max i} = \frac{I}{U + t_{н.с}}, \quad (3.25)$$

де I - приведена інтенсивність поглинутої сонячної радіації;

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

Підставивши значення знаходимо:

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

Підставивши значення величин у формулу 3.25 маємо:

$$g_i = \frac{0,86 \cdot 8}{\ln \frac{60 - 15}{60 - 55}} = 5,5 \text{ кг/м}^2.$$

Підставивши значення у 3.18 знаходимо площу геліо колектора:

$$F = \frac{60}{5,5 \cdot 7} = 1,56 \text{ м}^2.$$

Потужність геліоустановки обчислюється залежністю:

| | | | | | | |
|-----|------|---------|--------|------|---------------------|------|
| | | | | | МРМА24.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 85 |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата | | |

$$P = Q \cdot F \cdot k \quad (3.24)$$

де Q - величина сонячного випромінювання, що попадає на гелію панель;

k - відсоток корисної енергії, яка отримується з гелію панелі, із вирахуванням втрат; $k = 0,7$.

Тоді:

$$P = 1,03 \cdot 1,56 \cdot 0,7 = 1,14 \text{ кВт.}$$

ККД установки знаходимо за формулою:

$$\eta = 0,8 \left(\Theta \frac{9U \cdot (0,5(t_1 + t_2) - t_{н.с})}{g_i} \right) \quad (3.23)$$

де Θ – приведений оптичний параметр колектора. При відсутності паспортних даних приймається рівною 0,73 для односклових колекторів і 0,63 - для двохсклових;

$$\eta = 0,8 \left(0,73 \frac{9 \cdot 8 \cdot (0,5(55 + 15) - 20)}{5,5} \right) = 76 \%$$

Далі уточняється об'єм бака-акумулятора залежно від площі гелію колектора. Об'єм бака-акумулятора V слід визначати за добовими графіками підігрівання води в установці і водоспоживання, а за їх відсутності залежно від кліматичного району за виразом [54]:

$$V = (0,10 - 0,15) F.$$

Приймається більше значення для IV кліматичного району.

| | | | | | | |
|-----|------|---------|--------|------|---------------------|------|
| | | | | | МРМА24.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 86 |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата | | |

3.3 Висновки до третього розділу

У цьому розділі визначається оптимальний кут нахилу та орієнтації сонячного колектора для максимального поглинання сонячної енергії. Здійснюється розрахунок основних параметрів сонячного колектора та об'єму буферної ємності, які забезпечують ефективне функціонування геліо системи з урахуванням кліматичних умов та добового споживання води.

| | | | | | | |
|-----|------|---------|--------|------|---------------------|------|
| | | | | | MPMA24.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 87 |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата | | |

ВИСНОВКИ

У першому розділі магістерської роботи виконано огляд і аналіз сучасних технологічних і технічних рішень у сфері теплопостачання з використанням сонячних колекторів. Розглянуто явище сонячного випромінювання, наведено теоретичні відомості про системи перетворення сонячної енергії в теплову та основну інформацію про сонячні колектори.

У другому розділі розроблено систему теплопостачання з використанням сонячних колекторів. Створено принципову схему установки для гарячого водопостачання, на основі якої обрано основні елементи: сонячний колектор, циркуляційний насос, мембранний розширювальний бак, бак-акумулятор, теплообмінники, регулюючу арматуру та контролер. Розроблено електричну схему підключення елементів і описано систему гарячого водопостачання. Додатково підготовлено лабораторну роботу для студентів спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка».

Третій розділ присвячений розрахункам: визначено оптимальний кут нахилу й напрям встановлення сонячного колектора, а також параметри сонячного колектора та буферної ємності.

| | | | | | | |
|-----|------|---------|--------|------|---------------------|------|
| | | | | | МРМА24.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 88 |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата | | |

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Бобров Є.А. Енергетична безпека держави: Монографія. – К.: Університет економіки та права «КРОК», 2013. – 308 с.
2. Використання сонячної енергії [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://eenergy.com.ua/baza-znan/vykorystannya-sonyachnoyi-energiyi/>.
3. Сонячний колектор [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%BE%D0%BD%D1%8F%D1%87%D0%BD%D0%B8%D0%B9_%D0%BA%D0%BE%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D0%BE%D1%80.
4. Відновлювальна енергетика та вплив на навколишнє середовище [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.gpee.com.ua/news_item/727.
5. Переваги сонячної енергії [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://dovidka.biz.ua/perevagi-sonyachnoyi-energiyi/#google_vignette.
6. Недоліки використання енергії сонця [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://dovidka.biz.ua/nedoliki-vikoristannya-energiyi-sontsya/>
7. Яке застосування має сонячна енергія? [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.0352.ua/list/315233>.
8. Сонячна радіація [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.tsatu.edu.ua/ros1/wp-content/uploads/sites/20/ahrometeorologhija-12.pdf>.
9. Титко Р., Калініченко В.М. Відновлювані Джерела Енергії (досвід Польщі для України): Навчальний посібник. – Варшава: OWG, 2010 - 530 с.
10. Мисак Й.С. Сонячна енергетика. Теорія і практика. – Львів: Львівська політехніка, 2014. – 340.
11. Що таке геліосистема [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://alterair.ua/uk/articles/chto-takoe-geliosistema/>.
12. Рівні сонячної інсоляції в Україні [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://apricus.com.ua/urovni-solnechnoy-insolyatsii-v-ukraine/>.

13. Що таке геліосистема: поняття, призначення, склад, переваги і недоліки [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://alterair.ua/stati/chto-takoe-geliosistema/>.

14. Інноваційні, енерго- та ресурсозберігаючі технології галузі : методичні вказівки до вивчення дисципліни для здобувачів вищої освіти ОНР «доктор філософії» спеціальності 133 «Галузеве машинобудування» / упоряд.: О. С. Поліщук, М. Є. Скиба, С. П. Лісевич, О. О. Коротич, В. О. Харжевський. Хмельницький : ХНУ, 2021. 212 с.

15. Що таке сонячний колектор. Види і принцип роботи [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://xn--e1aamjfhft.com.ua/sonjachni-kolektory-pryncyp-roboty>.

16. Плоский сонячний колектор [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://prel.prom.ua/ua/p246060748-ploskij-sonyachnij-kolektor.html>.

17. Сонячні колектори для нагріву води [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://budmaster.info/article/sonyachni-kolektori-dlya-nagrivu-vodi-ta-opalennya-budinku>.

18. Сонячний колектор: будова, принцип роботи [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://eenergy.com.ua/baza-znan/sonyachnyj-kolektor-budova-pryntsyp-roboty/#google_vignette.

19. Сонячний колектор всесезонний (спліт-система) [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://mir2007.net/ua/p15532374-solnechnyj-kollektor-vsesezonnyj.html?srsltid=AfmBOoqTYuKK3cBWTAgfT7gTwMwpN1A0vTq3T3e2r7M-7iruwD4VTDIz>

20. Використання геліоколекторів в сільськогосподарському виробництві [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.tsatu.edu.ua/tsst/wp-content/uploads/sites/6/lr-10-vykorystannja-heliokolektoriv-v-silskohospodarskomu-vyrobnyctvi-z-dyscypliny-mvtt-1-semestr.pdf>.

21. Сонячний вакуумний колектор Атмосфера СВК-А 10

[Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://solarbud.com.ua/ua/p454926788-sonyachnij-vakuumnij-kolektor.html>.

22. Циркуляційні насоси: їх роль та різновиди [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://teplokomfort.in.ua/ua/news/tsirkulyatsionnie-nasosi-ih-rol-i-raznovidnosti.html>.

23. Циркуляційні насоси Grundfos [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://gme.in.ua/ua/nasosy/cirkuljacionnye-nasosy/grundfos-otoplenie/?srsltid=AfmBOomhoqRBVUPTXVgMI-VVVbed3RzHs1WvmOqL8r4TUCG3vJLNVRv>

24. Насос циркуляційний для системи опалення Grundfos UPS Solar [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.teploterm.ua/ua/nasos-cirkuljacionnyj-dlja-sistemy-otoplenija-grundfos-ups-solar.html>.

25. UPS Solar 25-65 130 [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://product-selection.grundfos.com/ua/products/up-ups-series-100/ups-solar/ups-solar-25-65-130-96817652?tab=variant-specifications&pumpssystemid=1174468053>.

26. Насос циркуляційний Grundfos UPS 25-65 130 [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://santehmaster.ua/cirkuljacionnye/nasos-cirkuljacionnyj-grundfos-ups-25-65-130.html?srsltid=afmbooqzmm1pxsg5zpxuqurpjpg77jxl4d4d2uweez-lfff6wprdsbndz>.

27. Криві характеристик [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://product-selection.grundfos.com/ua/products/up-ups-series-100/ups-solar/ups-solar-25-65-130-96817652?tab=variant-curves&pumpssystemid=1174468053>

28. Циркуляційні насоси UPS 15-40 130 [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://product-selection.grundfos.com/ua/products/up-ups-series-100/up-ups/ups-15-40-130-96281368?tab=variant-specifications&pumpssystemid=1174469094>.

29. Криві характеристик [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://product-selection.grundfos.com/ua/products/up-ups-series-100/up-ups/ups-15-40-130-96281368?tab=variant-curves&pumpsystemid=1174469094>.

30. Розширювальні баки: діди, призначення та критерії вибору [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://akvadim.com/rozsiriuvalni-baki-vidi-priznacennia-ta-kriteriyi-viboru>.

31. Розширювальні баки [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://sansmart.com.ua/uk/otoplenie/baki-dlya-vody/rasshiritelnye-baki/>.

32. Бак Zilmet solar-plus для систем сонячного опалення 12л [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://geyser.com.ua/bak-zilmet-solar-plus-dlia-system-solnechnoho-otopleniia-12l-10bar-11a2001210/>.

33. Розширювальний бак Zilmet Cal-Pro 35 [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://vencon.ua/ua/products/zilmet-cal-pro-35-1300003500?utm_medium=cpc&utm_source=google&utm_id=19921886592&utm_campaign=19921886592&utm_content=154597603104&utm_term=kw:|pid:|tarid:dsa-2007205265033&gclid=Cj0KCQiA9667BhDoARIsANnamQb6blZ29TpzTi_J1iqWhDu7X5-pl5pfh_NBPYp-w99inWDURqdgZq8aAsr9EALw_wcB.

34. CAL-PRO – розширювальні баки [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.zilmet.in.ua/ru/cat/1/2.html>.

35. Вибір акумуляційної ємності [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://bakilux.com.ua/ua/blog/vibir-akumulyatsijnoyi-yemnosti/>.

36. Що таке буферна ємність? Правильний розрахунок буферної ємності [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://bakilux.com.ua/blog/shho-take-buferna-yemnist-pravilnij-rozrahunok-bufernoyi-yemnosti/?srsltid=AfmBOooPKP-_i9eANrpjgXgqJVKgLQtEHRj83Pk_KM6z6YsHbGZyxVnWr.

37. Теплоаккумулятор BakiLux АБ-350 з ізоляцією [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://teploradost.com.ua/ua/teploakkumulyator->

bakilux-ab350-s-izolyaciej-

17022021938?srsltid=afmbooralt9kb6q2ds6jkhe8sym35trhjb9_wbygolifetfmbttgklo

38. Як працює теплообмінник "труба в трубі" – переваги та недоліки пристрою [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://pipemastak.com.ua/pipes-heating/yak-pracyuye-teploobminnik-truba-v-trubi-perevagi-i-nedoliki-pristroyu.html#google_vignette.

39. Як розрахувати теплообмінник пластинчастий [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://termoprom.com.ua/uk/information/articles/kak-rasschitat-plastinchatyj-teploobmennik.php>.

40. Теплообмінники паяні Swep [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://termoprom.com.ua/uk/produkt/heat-exchangers/swep.php>.

41. Паяний пластинчастий теплообмінник SWEP E5AS [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://termal.ua/ua/product/paianyj-plastynchastyj-teploobminnyk-swep-e5as/>

42. Термометр Arthermo AR-T/B 65. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://feko.com.ua/shop/product/5608/>.

43. Радіальний термоманометр [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://aldentrade.com.ua/ua/termomanometry/termomanometr-radyalnyj-arthermo-ti-110-0-4-bar-0...120c?srsltid=AfmBOopkM8S6tHcIG7ljmzSQLPZNV_KTObw5JM78w5LluUqhlouHq0B.

44. Клапан Afriso для підключення розширювального баку [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://obigriv.com.ua/uk/klapan-afriso-3-4x3-4-dlya-podklyucheniya-rasshiritelnogo-baka/>.

45. Сантехніка [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.opalenja.com/7417417414-1/>.

46. Автоматичний розповітрявач Afriso [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://volar.com.ua/ua/shop/avtomaticheskii-vozduhootvodchik-afriso->

1-2.html

47. Труби, крани, вентилі, змішувачі [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://podvirya.com.ua/dveri-i-vikna/trubi-krani-zmishuvachi-ventiliyak-vibrati>

48. Гідротермічні сантехнічні системи і комплектуючі [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://obigriv.com.ua/documents/GENERAL-FITTING-Catalog.pdf>.

49. Фітинги латунні. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://santop.ua/ua/zaporno-reguliruiushchaia-armatura/rezbovyefitingi/latunnye>

50. Труба мідна для опалення КМЕ Sanco [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://teplokomfort.ua/tverdi-midni-dlya-opalennya-kme-sanco>.

51. Труби мідні для опалення [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://domopta.com.ua/midni-truby-dlya-opalennya-dlya-tyh-hto-tsinuye-komfort/>

52. Автоматика для сонячних колекторів Евростер 813 [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://kotly-ttsk.com.ua/euroster-813>.

53. Автоматичний вимикач 10А 6кА 1 полюс тип С MC110A Hager [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://axiomplus.com.ua/ua/avtomaticheskie-vyklyuchateli/product-33994/>.

54. Розрахунок та вибір обладнання для системи гарячого водопостачання з сонячним колектором [Текст]: метод. рек. до викон. розрахункової робо-ти для студ. спеціальностей «Енергетичний менеджмент» та «Екологія та охорона навколишнього середовища» /Уклад: В.В. Дубровська, В.І. Шкляр, Ю.В. Лохманець – К.: НТУУ «КПІ», 2011. – 52 с.

55. Никифорович Є.І., Кідрук М.І. Моделювання та оптимізація систем теплопостачання будівель з використанням відновлювальних джерел енергії (тепловий насос та сонячний колектор). Нова Тема №2/2008. – С.11-13.

ДОДАТОК А

| | | | | | | |
|-----|------|---------|--------|------|---------------------|------|
| | | | | | МРМА24.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 95 |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата | | |