МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ім. Ю.М. ПОТЕБНІ

ЕЛЕКТРИЧНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА КІБЕРФІЗИЧНИХ СИСТЕМ
(повна назва кафедри)

Кваліфікаційна робота/проєкт

другий (магістерський) рівень
(рівень вищої освіти)

на тему «Підвищення енергоефективності теплопостачання корпусу підприємства шляхом використання відновлювальних джерел енергії»

Виконав: студент 2 курсу, групи 8.1443-з
спеціальності 144 Теплоенергетика
(код і назва спеціальності)
освітньої програми Теплоенергетика
(назва освітньої програми)

спеціалізації _____
(код і назва спеціалізації)
О.О.Петренко
(ініціали та прізвище)

Керівник проф., д.т.н. Биковський О.Г.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)
Рецензент ст. викл. Таратута В.О.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Запоріжжя
2024

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М.Потебні
Кафедра Електричної інженерії та кіберфізичних систем
Рівень вищої освіти другий (магістерський) рівень
Спеціальність 144 Теплоенергетика
(код та назва)
Освітня програма Теплоенергетика
(код та назва)
Спеціалізація _____
(код та назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри

д.т.н., проф. _____ В.Л. Коваленко
«_____»_____ 2024 року

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ/ПРОЄКТ СТУДЕНТОВІ(СТУДЕНТЦІ)
Петренко Оксані Олександрівні
(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема роботи (проєкту) «Підвищення енергоефективності теплопостачання корпусу підприємства шляхом використання відновлювальних джерел енергії»
керівник роботи (проєкту) Биковський Олег Григорович, проф., д.т.н .
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом ЗНУ від «30» вересня 2024 року № 1484-с
Строк подання студентом роботи 01 грудня 2024 р.
3 Вихідні дані до роботи : характеристика досліджуваної будівлі; дані для розрахунку площі сонячних колекторів: середньомісячна інсоляція на горизонтальну поверхню, H_T, кВт/м^2 на добу, середньомісячна температура зовнішнього повітря,°С, середня тривалість сонячного сяяння за місяць, $n_{\text{міс}}^{cc}$
4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1) Дослідження особливостей автономних систем ГВП з використанням відновлюваних джерел енергії 2) Підвищення енергетичної ефективності теплопостачання шляхом використання відновлюваних джерел енергії. 3) Розрахунок техніко-економічних показників запропонованих заходів з використанням відновлюваних джерел енергії.
5 Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) 1).Аналіз стану впровадження відновлюваних джерел енергії в Україні у довоєнний період та сьогодення. 2) Схема гарячого водопостачання із сонячним колектором. 3) Конструкція сонячного колектора та варіанти покриття

поглинаючої панелі.4) Залежність ККД сонячних колекторів від різниці температур між колектором і повітрям. 5) Схема роботи теплового насоса. 6) Результати розрахунку балансу виробництва теплової енергії на гаряче водопостачання.7) Ефективність колекторів Sintsolar у порівнянні з іншими конструкціями.8)Технічні характеристики теплового насоса 9)Техніко-економічні показники впровадження запропонованих заходів. 10) Висновки.

6 Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ 1	Биковський О.Г., проф.,д.т.н.		
Розділ 2	Биковський О.Г., проф., д.т.н.		
Розділ 3	Биковський О.Г., проф., д.т.н.		

5 Дата видачі завдання 30.09.2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Дослідження особливостей автономних систем ГВП з використанням відновлюваних джерел енергії	14.10.2024	
2	Підвищення енергетичної ефективності теплопостачання шляхом використання відновлюваних джерел енергії	14.11.2024	
3	Розрахунок техніко-економічних показників запропонованих заходів з використанням відновлюваних джерел енергії	01.12.2024	

Студент _____ О.О.Петренко
(підпис) (ініціали та прізвище)

Керівник роботи (проєкту). _____ О.Г.Биковський
(підпис) (ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер _____ І.І. Коваленко
(підпис) (ініціали та прізвище)

АНОТАЦІЯ

О.О. Петренко. Підвищення енергоефективності теплопостачання корпусу підприємства шляхом використання відновлювальних джерел енергії.

Кваліфікаційна випускна робота на здобуття ступеня вищої освіти магістра за спеціальністю 144 – Теплоенергетика, науковий керівник О.Г.Биковський. Запорізький національний університет. Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні. Кафедра електричної інженерії та кіберфізичних систем, 2024.

Кваліфікаційна робота магістра присвячена розробці заходів з метою підвищення енергоефективності теплопостачання будівлі шляхом використання відновлюваних джерел енергії. У роботі проведено дослідження особливостей автономних систем ГВП з використанням відновлюваних джерел енергії. Досліджені варіанти модернізації системи ГВП на основі: теплового насосу і сонячного колектору; електричного котла; теплового насосу. Доцільність та перспективність впровадження систем з відновлюваними джерелами енергії обґрунтовано економічними розрахунками.

Ключові слова: відновлювані джерела енергії, автономне теплопостачання, тепловий насос, сонячний колектор, поглинаюча панель, електричний котел, строк окупності

ABSTRACT

O.O. Petrenko. Improving the energy efficiency of heat supply to the enterprise building by using renewable energy sources

Qualifying final work for obtaining a master's degree in the specialty 144 - Heat Power Engineering, Supervisor O.G. Bykovsky. Zaporizhzhia National University. Engineering Educational and Research Institute named after Y.M. Potebnya. Department of Electrical Engineering and Cyberphysical Systems, 2024.

The qualification work of the master is devoted to the development of measures to improve the energy efficiency of heat supply of the building through the use of renewable energy sources. The study of the features of autonomous hot water supply systems using renewable energy sources. Options for upgrading the hot water supply system based on: heat pump and solar collector; electric boiler; heat pump. Feasibility and prospects of implementation of systems with renewable energy sources are justified by economic calculations.

Keywords: renewable energy sources, autonomous heat supply, heat pump, solar collector, absorption panel, electric boiler, payback period

ЗМІСТ

ВСТУП 8

1 ДОСЛІДЖЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ АВТОНОМНИХ СИСТЕМ ГВП З ВИКОРИСТАННЯМ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ 10

1.1 Аналіз стану впровадження відновлюваних джерел енергії в Україні 10

1.2 Особливості автономних систем ГВП з використанням поновлюваних джерел енергії 20

2 ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ ШЛЯХОМ ВИКОРИСТАННЯ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ. 32

2.1 Характеристика досліджуваного об’єкта 32

2.2 Визначення розрахункових витрат води в системі гарячого водопостачання типової багатоповерхової будівлі 33

2.3 Варіанти системи ГВП 38

2.4 Вибір основного обладнання системи ГВП з використанням теплового насосу та сонячного колектора 40

2.4.1 Розрахунок площі сонячного колектора 40

2.4.2 Вибір теплового насосу 50

2.4.3 Розрахунок бака-акумулятора 53

2.4.4 Вибір циркуляційного насосу 56

2.5 Вибір основного обладнання системи ГВП з використанням теплового насосу 57

2.6 Вибір основного обладнання системи ГВП з використанням електричного котла 60

2.7 Схема системи ГВП на основі сонячного колектора та теплового насосу. 62

3 РОЗРАХУНОК ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ЗАПРОПОНОВАНИХ ЗАХОДІВ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ 66

3.1 Оцінка капітальних витрат 66

3.2 Розрахунок експлуатаційних витрат на ГВП 69

3.3 Визначення економічного ефекту та економічної ефективності проекту 74
ВИСНОВКИ 76
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ 78

ВСТУП

Актуальність роботи. Актуальність роботи підтверджується тим, що у плані переходу енергетичного сектору України на відновлювані джерела енергії до 2050 року передбачено значне збільшення використання сонячних колекторів для виробництва теплової енергії. Цей сценарій передбачає, що сонячні колектори разом з тепловими насосами стануть основними джерелами теплової енергії, поступово витісняючи викопні види палива, що сприятиме підвищенню енергетичної безпеки країни.

Об'єкт дослідження – п'ятиповерхова будівля з централізованою системою ГВП.

Предмет дослідження – енергетична ефективність гарячого водопостачання.

Мета роботи - підвищення енергоефективності теплопостачання шляхом використання відновлюваних джерел енергії.

Задачі дослідження. Для досягнення зазначеної мети дослідження в магістерській роботі вирішуються такі задачі:

- дослідження особливостей автономних систем ГВП з використанням відновлюваних джерел енергії;

- визначення розрахункових витрат води в системі гарячого водопостачання будівлі;

- розробка варіантів енергоефективної автономної системи гарячого водопостачання з використанням відновлюваних джерел енергії;

- розрахунок техніко-економічних показників запропонованих заходів.

Методи дослідження - теоретичний, розрахунковий, аналіз і синтез літератури, техніко-економічний аналіз.

1 ДОСЛІДЖЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ АВТОНОМНИХ СИСТЕМ ГВП З ВИКОРИСТАННЯМ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ

1.1 Аналіз стану впровадження відновлюваних джерел енергії в Україні

Після руйнувань, завданих енергетичній інфраструктурі внаслідок військових дій (рисунок 1.1), розвиток відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) став пріоритетним напрямом для забезпечення стабільного та екологічно чистого енергопостачання.



Рисунок 1.1- Приклад пошкоджених українських об’єктів [1]

У статті [1] проведено аналіз розвитку сектора відновлюваної енергетики України до війни, під час війни та перспективи після неї. Відновлювані джерела енергії стали стратегічно важливими для енергетичної незалежності країни, особливо в умовах російської агресії. Наразі Україна готується розвивати сектор ВДЕ як один із ключових елементів післявоєнної відбудови та економічної безпеки [2].

На рисунку 1.2 представлено аналіз стану впровадження відновлюваних джерел енергії в Україні у довоєнний період.

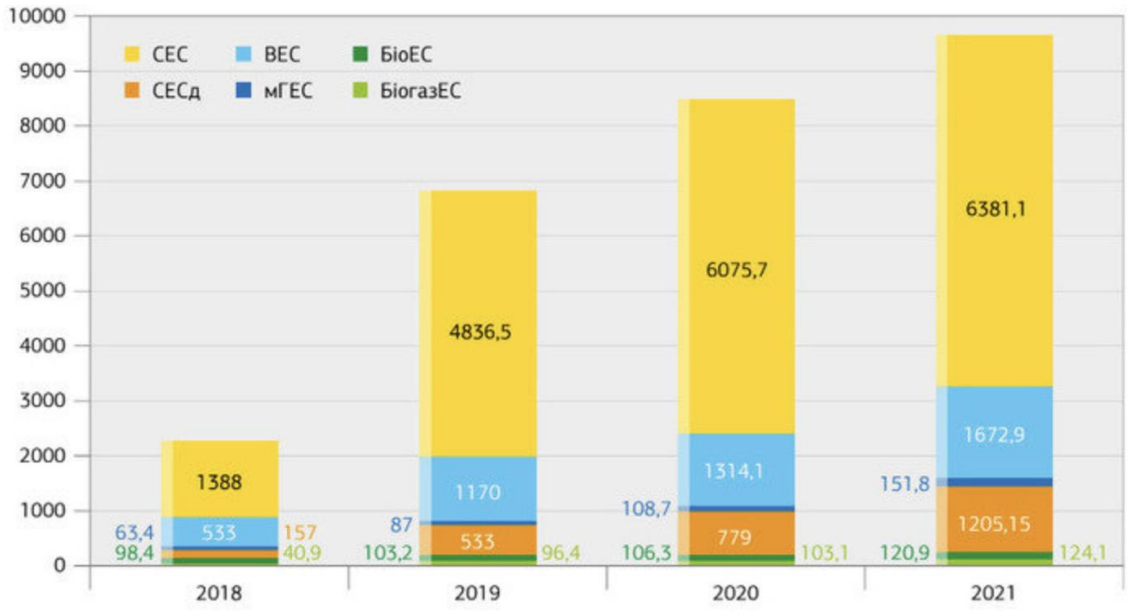


Рисунок 1.2 - Динаміка росту встановленої потужності об’єктів ВДЕ, які працюють за «зеленим» тарифом, МВт [1]

На рисунку 1.3 представлені обсяги виробництва електроенергії та встановлена потужність сектору ВДЕ. У 2020 році Україна входила у ТОП-5 європейських країн за темпами розвитку сонячної енергетики [1].

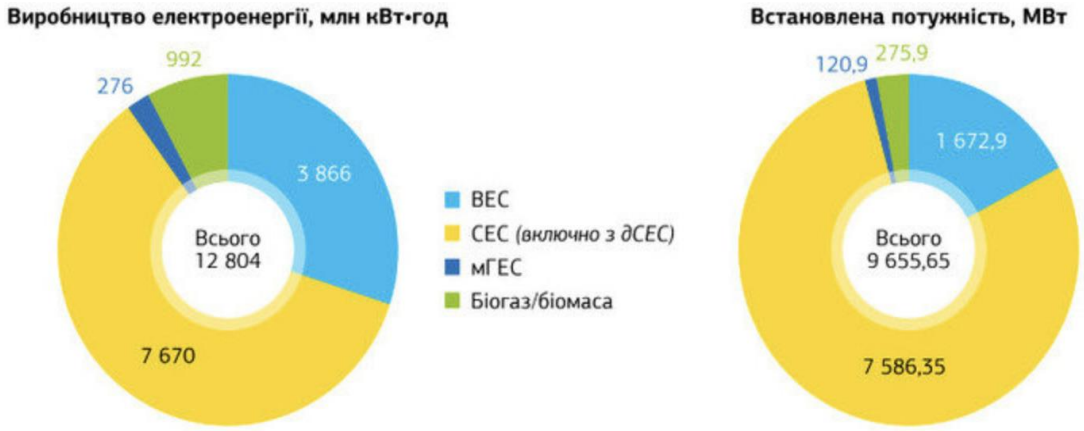


Рисунок 1.3 Виробництво електроенергії та встановлена потужність сектору ВДЕ, по видах, станом на кінець 2021 року

У даній роботі була розглянута можливість переходу від централізованої системи ГВП на автономну з використанням відновлюваних джерел енергії.

Система ГВП служить для підготовки і подачі гарячої води до санітарно-технічних приладів, технологічного обладнання та включає в себе: установку для приготування гарячої води, внутрішньо будинкові розвідні і циркуляційні трубопроводи, водорозбірні прилади.

Вода, що подається системами гарячого водопостачання в житлові та громадські будівлі на господарсько-побутові потреби промислових підприємств, повинна бути питної якості і задовольняти вимогам ДСТУ. До якості води, що йде на технологічні цілі, висувають вимоги залежно від характеру виробництва. Розрізняють системи гарячого водопостачання централізовані і місцеві (децентралізовані).

При централізованому гарячому водопостачанні приготування гарячої води відбувається в одному місці і транспортується споживачам по трубопроводах (мається на увазі приготуванням на котельні).

При місцевому гарячому водопостачанні водонагрівачі встановлюються безпосередньо в місцях споживання води (ванни, душі, мийки, виробничі агрегати) і обігріваються спалюваним паливом (газоподібним, рідким, твердим) або електроенергією.

Традиційна для нашої країни система централізованого теплопостачання добре відома і має як свої переваги, так і недоліки.

Діючі в Україні системи центрального теплопостачання є досить енергозатратними. Відсутність автоматичного регулювання виробництва та відпуску тепла, неякісна теплова ізоляція зовнішніх теплових мереж призводять до значних втрат тепла. Ці втрати нерідко становлять 40-50 %. Крім того відсутність автоматичного регулювання відпуску тепла є причиною неможливості цілодобового забезпечення комфортних умов. Останнє стосується як забезпечення температурного режиму приміщень так і якості гарячого водопостачання. Широкомасштабна реконструкція систем центрального теплопостачання протягом короткого проміжку часу неможлива через необхідність великих капіталовкладень. В той же час значна частина котелень промислових підприємств, які крім промислових об’єктів, забезпечують теплом і житлові будинки, виводяться з експлуатації.

Загальновідомо, що розрахункове навантаження на котельні встановлювалось з значним запасом. Перенесення цієї методології для вирішення сьогоднішніх проблем ускладнює впровадження новітніх технологій. Основними недоліками роботи котелень є недостатньо висока ефективність використання палива, неможливість додержання заданих технологічних параметрів в зв’язку з відсутністю надійних систем автоматизації та наявність застарілого обладнання (строк служби якого вичерпано) з низькими техніко-економічними показниками.

На даний час системи централізованого теплопостачання (ЦТ) потребують планомірного здійснення комплексу технічних і організаційних заходів. У їх числі: заміна теплопроводів із застосуванням ефективних теплоізоляційних матеріалів, реконструкція теплових пунктів з установкою в них автоматизованих теплообмінників, здійснення спільної роботи ТЕЦ і котельних на загальні теплові мережі, будівництво високоефективних ТЕЦ з парогазовим циклом, перетворення районних котельних в міні-ТЕЦ, впровадження прогресивних технологій спалювання твердого палива, застосування комп’ютерних технологій для управління системами й ін.

При реалізації цих заходів в Україні ЦТ стане рентабельним і буде мати такі переваги (в порівнянні з автономним), як ефективне використання низькосортного місцевого палива (побутових відходів, низькосортного вугілля, біомаси, вторинних енергетичних ресурсів промислових підприємств й ін.) і зменшення обсягів імпортованого палива; скорочення обсягів шкідливих викидів в атмосферу, зниження техногенного навантаження на довкілля. Завдяки ефекту масштабу відбувається формування конкурентних переваг цих систем в питаннях технічного обслуговування та ціноутворення.

Враховуючи вказані переваги центрального теплопостачання та його нинішній стан, слід констатувати, що реформування систем із залученням необхідних інвестицій є начальною задачею.

Автономні системи, що оснащені сучасним устаткуванням (ККД яких дорівнює 92-95 %) більш економічні ніж централізовані системи опалення, гарячого водопостачання. Сучасні автономні автоматизовані установки обслуговуються нечисленним персоналом, дозволяють здійснювати їх монтаж і пуск в експлуатацію в короткі строки. До того ж розміщення цього обладнання не потребує відведення спеціальних територій.

На думку іноземних фахівців автономні системи для великих міст не повинні бути конкурентами великих ТЕЦ і районних котельних, а бути їх ефективним доповненням з доцільною часткою 10-15 % від потенційного ринку теплової енергії.

Сьогодні в Україні автономні системи слід застосовувати переважно для окремих будівель при їх будівництві або при модернізації у наступних випадках:

- в районах щільної забудови, охоплених централізованим теплопостачанням, де через обмежену пропускну спроможність теплової мережі неможливе підключення до неї додаткових споживачів, а прокладка нових теплових мереж ускладнена;

- при віддаленні будівель від районів централізованого теплопостачання, для ізольованих споживачів;

- для малоповерхових будівель;

- для об'єктів і споживачів з підвищеними вимогами до надійності енергопостачання, які не можуть бути гарантовано забезпечені подачею енергії з централізованих мереж;

- для впровадження інноваційних технологій екологічно чистих і енергоефективних джерел енергії.

Індивідуальне теплопостачання будівель і споруд – це автономне забезпечення теплом і гарячою водою. Основними елементами таких автономних систем є теплові насоси, сонячні колектори, електричні котли і т.д.

Централізовані системи настільки застаріли і технічно відстали від сучасних досягнень, що вже не можуть ні домінувати, ні конкурувати з децентралізованими або автономними системами теплопостачання.

Характеристика різних систем гарячого водопостачання наведена у таблиці 1.1.

Таблиця 1.1- Системи гарячого водопостачання

Найменування	Переваги	Недоліки
1	2	3
Централізоване гаряче водопо-стачання	Звичайне джерело отримання гарячої води	Дуже високі тепловтрати; висока експлуатаційна вартість; високі витрати на ремонт та обслуговування; не ефективне і абсолютно не гнучке устаткування

Продовження таблиці 1.1

1	2	3
Автономне гаряче водопостачання:	Відносно не висока ціна енергоносія	Висока ціна устаткування; висока ціна проєктування; щорічні витрати з контролю, технічного обслуговування; неможливість повсякденного використання.Відносно висока ціна енергоносія; підвищені вимоги до живлення мереж та автоматики
- газове;		
- електричне;	Найефективніше обладнання, що має найвищий ККД; екологічно чисте. безшумне, безпечне.	Займає велику площу; обмеження ємністю водонагрівача в отриманні гарячої води; відносно висока ціна щорічного обслуговування
- ємнісні водонагрівачі;	Постійний резерв підготовленої води; не висока потужність нагрівального елемента	
- альтернативні джерела енергії	Зниження експлуатаційних витрат; зниження шкідливих викидів в атмосферу; енергоефективність і за рахунок цього зниження частки енергії, що виробляється традиційними джерелами енергії.	Високі капітальні витрати

На рисунку 1.4 зображенні сумарні витрати при централізованому та децентралізованому теплопостачанні.

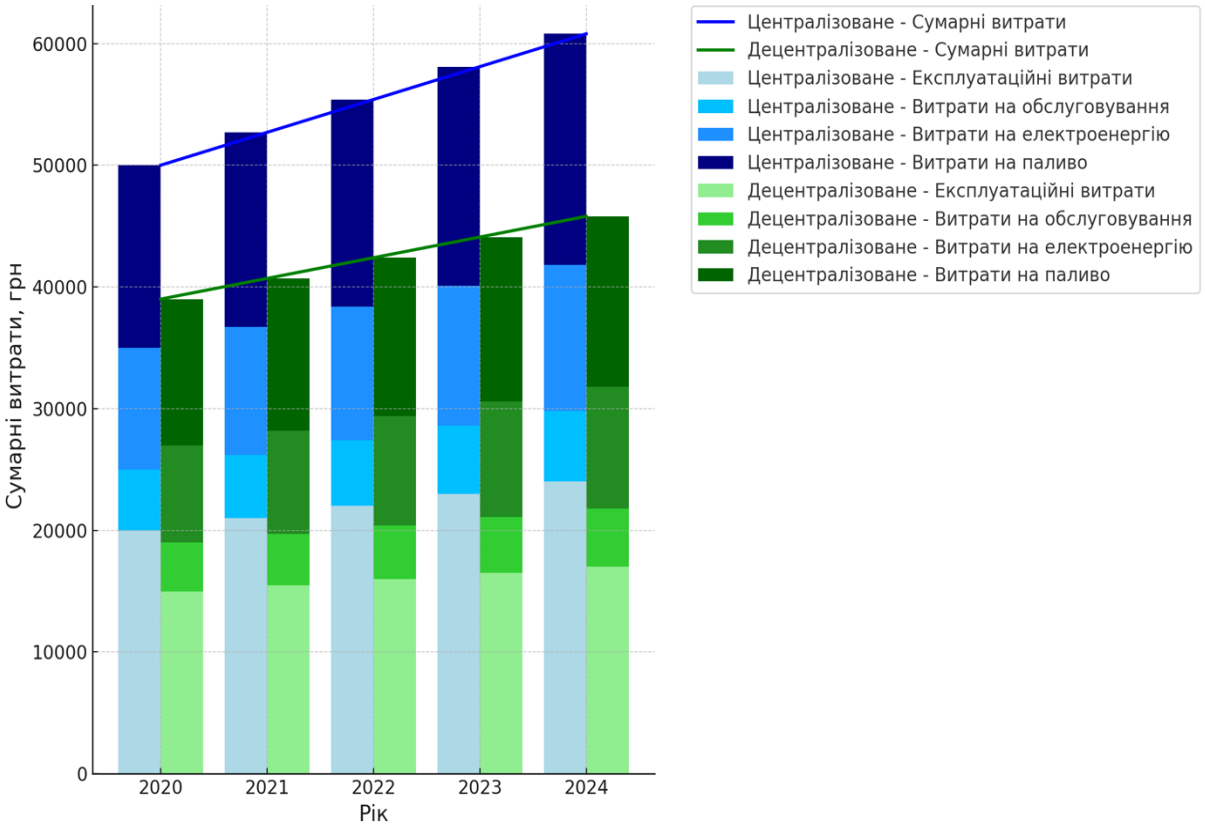


Рисунок 1.4 Сумарні витрати при централізованому та децентралізованому теплопостачанні

Централізоване теплопостачання демонструє вищі загальні витрати, з основним акцентом на витрати на паливо та електроенергію. Децентралізоване теплопостачання є більш економічним, маючи нижчі витрати у всіх категоріях, включаючи експлуатаційні та обслуговування.

Рисунок 1.5 дає уявлення про вартість 1кВт·год теплової енергії отриманої від різних джерел.

Найбільше зростання спостерігається у вартості електроенергії та газу, що вказує на їхню залежність від зовнішніх ринкових факторів, таких як ціни на паливо, тарифи та інфляція.

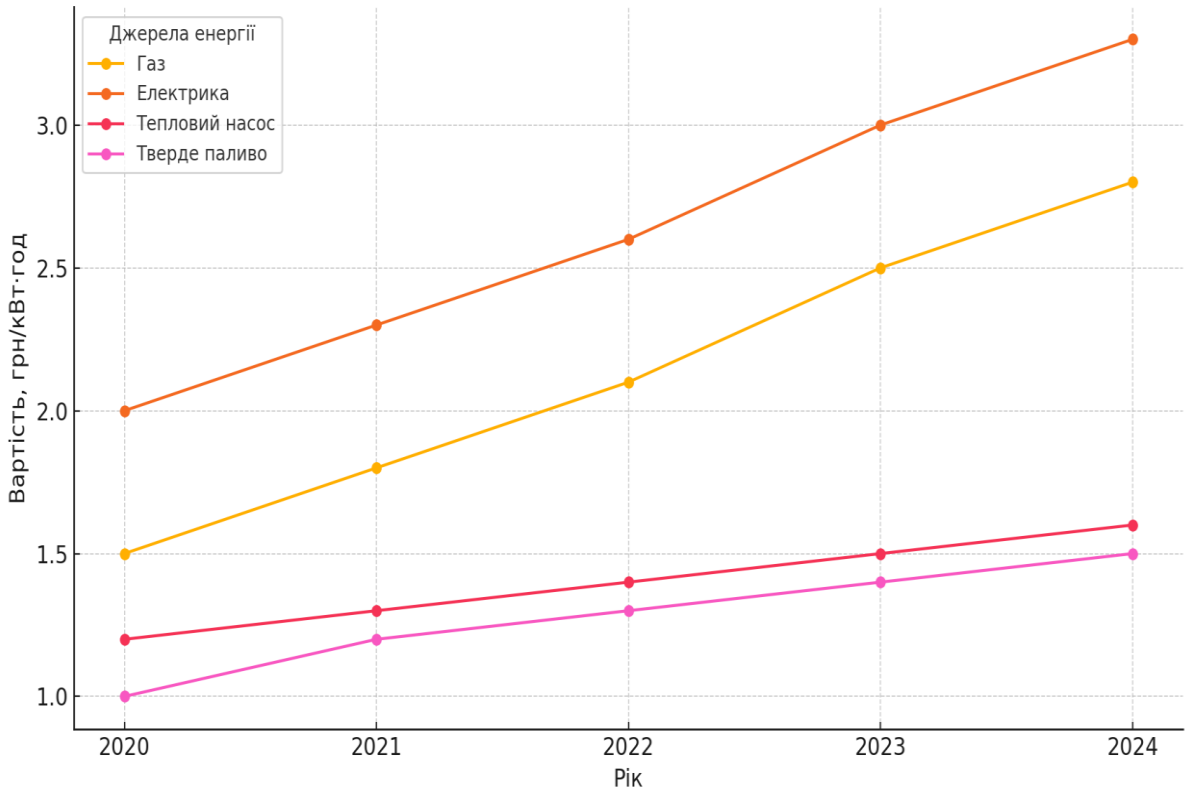


Рисунок 1.5 Порівняльна вартість отриманої теплової енергії від різних джерел енергії, 2020-2024 р.р.

Електроенергія залишається найдорожчим джерелом енергії у всіх роках, що робить її менш економічно вигідною для опалення без додаткових заходів енергоефективності. Водночас тверде паливо має найнижчу вартість, особливо у початкові роки, хоча темпи його подорожчання схожі з тепловим насосом. Тепловий насос демонструє стабільність і низькі темпи зростання вартості, роблячи його вигідним варіантом у довгостроковій перспективі. Газ займає середню позицію за вартістю, але його ціна зростає швидше, ніж у теплового насоса, що може бути пов’язано із залежністю від імпорту або змінами у внутрішній політиці. Для довгострокового опалення варто розглянути тепловий насос через його стабільну вартість та енергоефективність. Тверде паливо залишається доступним варіантом для регіонів із можливістю його зберігання та використання, а електроенергія доцільна лише за умови впровадження додаткових технологій енергоефективності. Графік підкреслює важливість

ретельного вибору джерела енергії, оскільки це значно впливає на загальні витрати, особливо в умовах зростання цін на традиційні енергоносії.

Недоліки централізованого гарячого водопостачання закликають використовувати автономну систему ГВП з використання відновлюваних джерел енергії, які забезпечують надійність системи, мінімальні тепловтрати, зменшують собівартість приготування гарячої води, а також знижують викиди CO_2.

Останнім часом у зв'язку з актуальними екологічними проблемами і усвідомленою необхідністю енергозбереження, у всьому світі все більше уваги приділяється використанню відновлюваної енергії [3-11], наприклад сонячної енергії, для отримання тепла. Значні можливості енергозабезпечення будівель відкриваються завдяки впровадженню сонячних колекторів для систем гарячого водопостачання та опалення. За допомогою сонячних колекторів можна отримувати енергію без шкідливого навантаження на навколишнє середовище.

Сонячна енергія може бути перетворена в теплову, механічну і електричну енергію, використана в хімічних і біологічних процесах. Сонячні установки (СУ) знаходять застосування в системах опалювання і охолоджування житлових і громадських будівель, в технологічних процесах, що протікають при низьких, середніх і високих температурах. Вони використовуються для отримання гарячої води, опріснення морської або мінералізованої води, для сушки матеріалів і сільськогосподарських продуктів.

Враховуючи те, що в останні роки велика увага приділяється енергозберігаючим технологіям у будівництві, комбіновані системи з сонячними установками знаходять все більш широке застосування як для ГВП, так і для опалювальних систем.

Впровадження в паливно-енергетичний комплекс України пропонованих сонячних установок буде сприяти переходу на використання місцевих енергоресурсів, що зменшить споживання традиційного органічного палива.

Для оцінки ефективності роботи теплового насоса, є коефіцієнт перетворення, загальноприйняте позначення якого COP (coefficient of performance). Коефіцієнт корисної дії теплового насоса являє собою відношення тепла на виході «теплового резервуара» до споживаної потужності. COP був створений для порівняння теплових насосів з енергоефективності. Таким чином, опис COP = 4 означає, що тепловий насос виробляє в 4 рази більше теплової енергії, ніж споживає електроенергії.

Температурна залежність COP типового повітряного теплового насоса виглядає так, як представлено на рисунку 1.6.

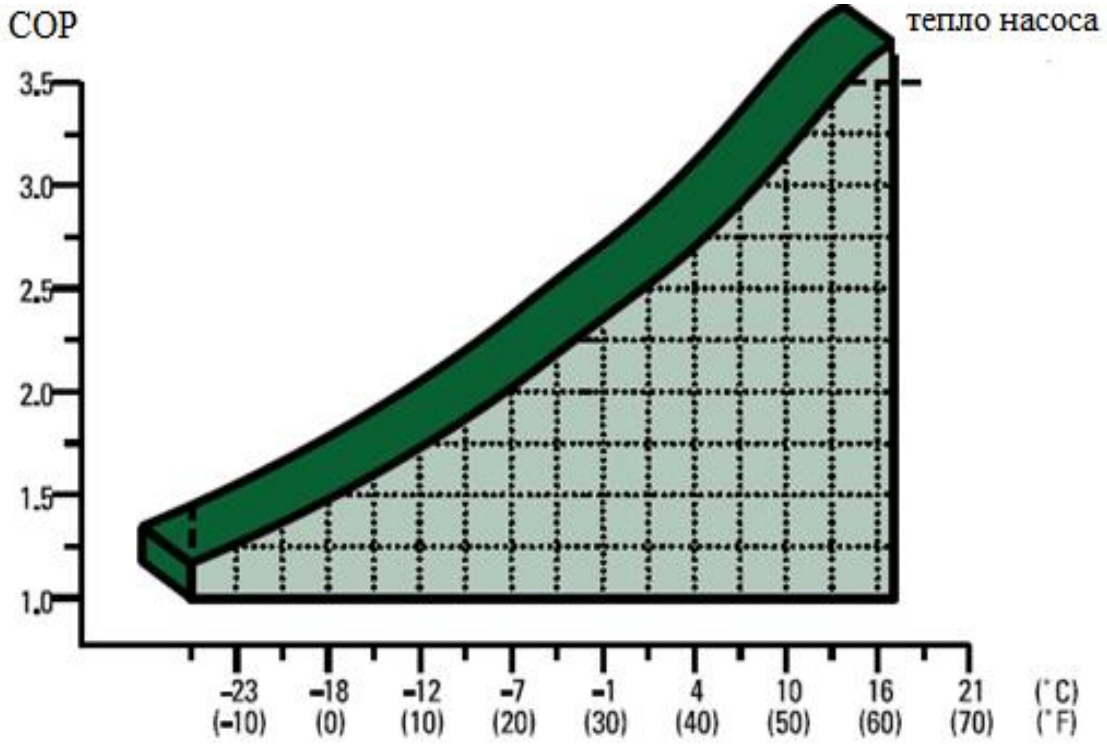


Рисунок 1.6 - Залежність COP від температури зовнішнього середовища

Для міст Украйни значення коефіцієнта корисної дії теплового насоса різне, в залежності від температури зовнішнього повітря.

Реально виміряні значення COP в залежності від зовнішньої температури для теплових насосів повітря-вода представлені на рисунку 1.7.

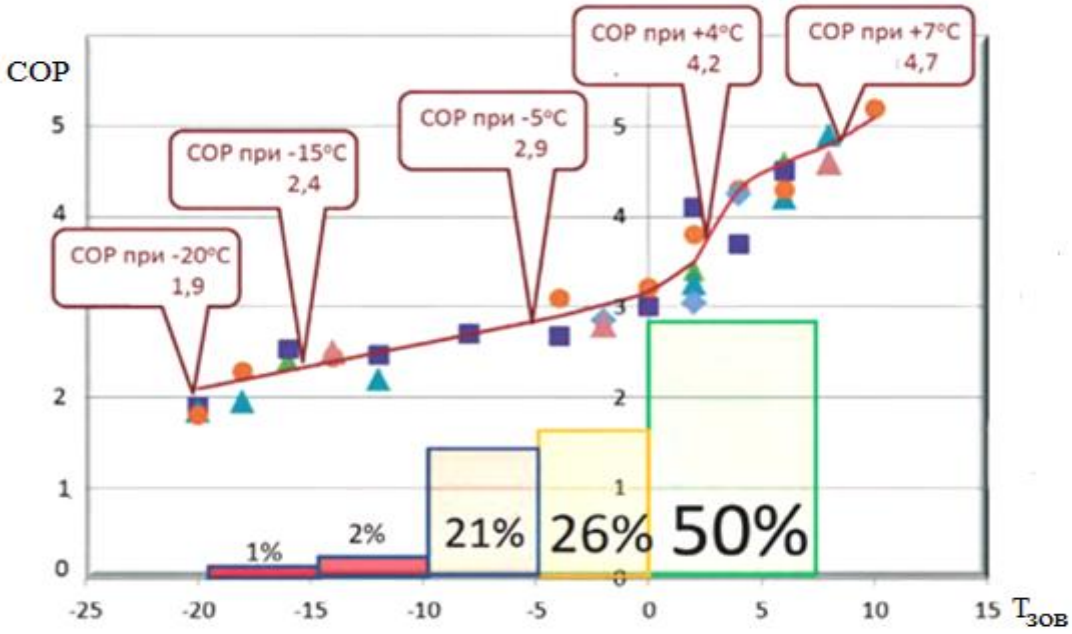


Рисунок 1.7 - Реально виміряні значення COP в залежності від зовнішньої температури для теплових насосів повітря-вода

1.2 Особливості автономних систем ГВП з використанням відновлюваних джерел енергії

В системах централізованого водопостачання велика кількість тепла (близько 30 %) втрачається під час транспортування гарячої води тепловими мережами.

Експлуатаційні витрати електроенергії на перекачування теплоносія становлять 6-10. Значне перевищення нормативних втрат пов'язано з високим ступенем зносу обладнання централізованих систем теплопостачання і, особливо, теплових мереж, до 70 % і більше.

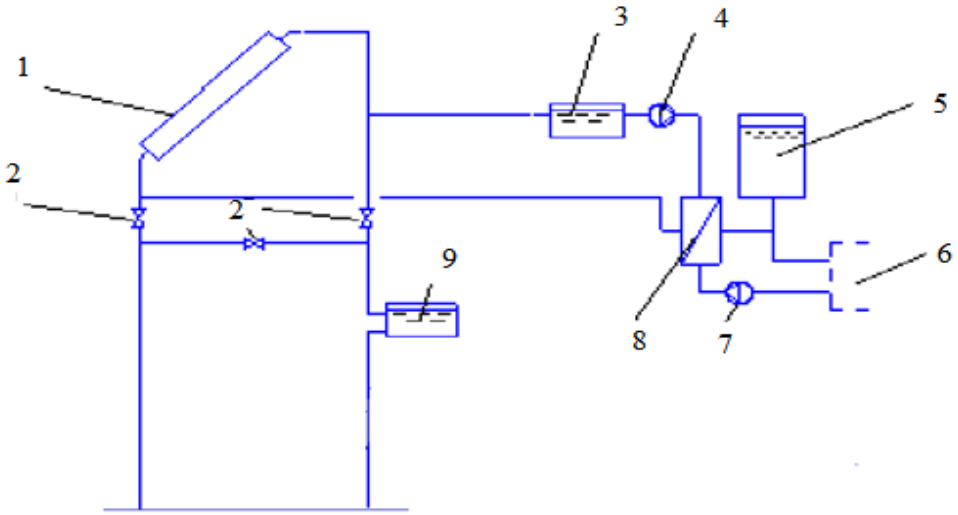
Тому, саме теплові мережі є наймеш надійним елементом системи централізованого теплопостачання, на який припадає понад 85 % відмов по системі в цілому.

Особливо гостро проблема позначилася в теплопостачанні об'єктів ЖКГ, де витрати палива на виробництво теплоти перевершують в 1,7 рази витрати на електропостачання. З метою економії тепла та енергоресурсів влаштовуються автономні системи гарячого водопостачання з використанням відновлюваних джерел енергії.

Основними джерелами відновлюваної енергії для автономної системи ГВП є:

- енергія вітру;
- енергія від сонячного світла;
- тепло з землі, повітря або водних джерел;

З метою зниження собівартості виробництва теплової енергії на потреби гарячого водопостачання населення, є необхідність модернізувати систему ГВП у житлових будинках шляхом переходу на автономну систему гарячого водопостачання з використанням відновлюваних джерел енергії. Функціональна схема автономної системи, що встановлюється на будинок, зображена на рисунку 1.8



1 – сонячний колектор 2 – регулюючі клапани; 3 – ємність теплосистеми ГВП; 4 – насос теплосистеми ГВП; 5 – ємність системи ГВП; 6 – система ГВП; 7 – насос системы ГВП; 8 – тепловий насос системи ГВП; 9 - ємність системи акумулювання – розрядки

Рисунок 1.8- Схема гарячого водопостачання житлового будинку

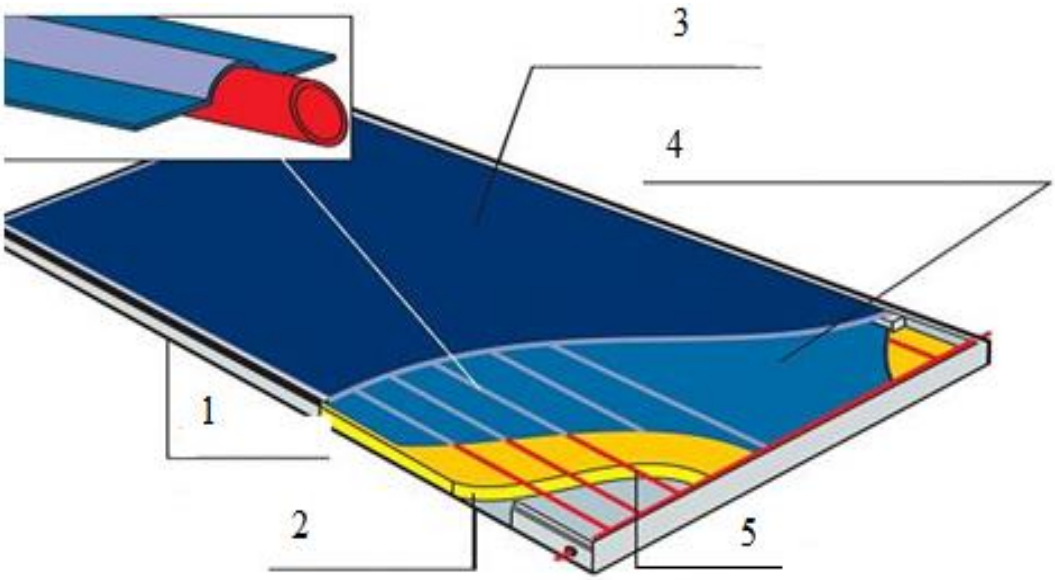
Основна економія утвориться за рахунок зниження собівартості приготування гарячої води при переході із централізованого приготування на котельнях (з використанням в якості палива природного газу), на автономні джерела з використанням сонячної енергії та ефективних теплових насосів з високими коефіцієнтами перетворення. Крім того, додатковим джерелом економії є зниження втрат теплової енергії при транспортуванні від котельні до споживачів, а також зниження витрат електроенергії на транспортування теплоносія.

Загальноприйнятий у розвинених країнах потенціал використання сонячних колекторів становить 1 м^2 на людину. Сонячне гаряче водопостачання у світі розвивається дуже інтенсивними темпами. Такі країни як Греція та Ізраїль давно досягли даного рівня. Це не дивно, тому що в умовах жаркого сонячного клімату енергія сонця може покривати до 100 % витрат на приготування гарячої води. Станом на останні доступні дані, що Китай є країною-лідером у впровадженні сонячних колекторів. Китай посідає перше місце за загальною встановленою площею сонячних теплових систем, що використовуються для нагріву води та опалення.

У Європі лідерами з впровадження сонячних колекторів є Німеччина, Швеція, Австрія, Швейцарія.

Найбільш поширеним типом сонячних колекторів є використання плоских сонячних колекторів. Слід зазначити, що в результаті тривалого вдосконалення колектори даного типу, по всій видимості, практично досягли найбільш оптимальних показників по ефективності, терміну експлуатації та вартості. Конструкція і схема роботи плоского сонячного колектора представлені на рисунках 1.9 та 1.10, відповідно.

В конструкції сонячних колекторів використані самі сучасні технічні рішення та матеріали: мідна поглинаюча панель з високоселективним покриттям, корпус алюмінію, силіконова ущільнююча резина, ударомiцне скло з низьким вмістом заліза.



1-алюмінієва рама; 2-теплоізоляція; 3-захисне скло; 4- поглинаюча поверхня з високим ступенем абсорбції; 5-мідна трубка

Рисунок 1.9 -Типова конструкція сонячного колектора

Зовні такий пристрій виглядає як звичайний металевий ящик. Проте всередині нього знаходиться чорна пластина, яка поглинає сонячне світло. Кришка у цього ящика повинна бути в обов'язковому порядку скляною або пластмасовою, щоб краще пропускати сонячну енергію.

Скління плоского сонячного колектора може бути прозорим, матовим. Найчастіше, все ж, віддається перевага матовому склу, оскільки таке скло дозволяє пропускати тільки світло. А також, вміст заліза в склі повинен бути дуже низьким, що б дозволити пропускати більшу частину світла в колектор. Принцип дії полягає в тому, що сонячне світло, потрапляючи на пластину, виробляє тепло. Скло служить теплоізоляцією, а для підвищення ККД колектора, його стінки прокладають теплоізолятором. Така конструкція дозволяє знизити теплові втрати до мінімуму.

Пластина абсорбенту, або ж пластина, що поглинає сонячне світло, часто пофарбована в чорний колір, щоб збільшити кількість сонячної енергії, що поглинається, адже той факт, то темні тіла притягують її більше - ні для кого не секрет. Проходячи через скло, і потрапляючи на поглинаючу пластину, сонячна

радіація перетворюється в теплову енергію. Далі, щоб продовжити процес, отримане тепло передається до теплового носія. Тепловим носієм може виступати повітря або рідина, які циркулюють в трубах.

Високий рівень теплопровідності металу дозволить зменшити тепловтрати при передачі переробленої енергії теплоносія. До списку таких металів можна зарахувати мідь і алюміній. Різниця між ними полягає в тому, що мідна пластина здатна краще проводити тепло, і більш стійка до корозій, на відміну від алюмінієвої пластини.

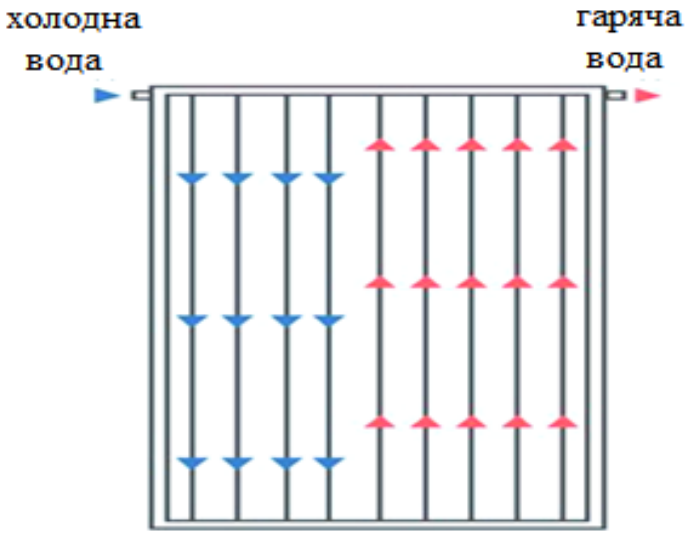


Рисунок 1.10 - Схема роботи плоского сонячного колектора

В контурі сонячних колекторів знаходиться спеціальний теплоносій (зазвичай незамерзаюча нетоксична рідина з антикорозійними і антиспінюючими присадками або підготовлена вода), при цьому теплова енергія від теплоносія передається воді за допомогою теплообмінника.

Важливою характеристикою сонячних колекторів є виробництво гарячої води з 1 м^2 поверхні. Для України в літній сонячний день продуктивність плоских колекторів може досягати 50 літрів води, нагрітої до 50 - 60°С з 1 м^2 в день.

Переваги :

- висока ефективність;
- відносна простота конструкції;

- надійність;
- можливість ефективної експлуатації протягом усього року;
- тривалий термін експлуатації.

Недоліки:

- більш низький ККД у порівнянні з вакуумними колекторами в періоди з низьким рівнем сонячного випромінювання і в холодну частину року.

Плоский сонячний колектор є технічно досить простим пристроєм. Найбільш високотехнологічним елементом в його конструкції є поглинаюче покриття. Очевидно, що для підвищення ефективності роботи колектора необхідно, щоб покриття поглинало як найбільшу частину енергії падаючих сонячних променів, а при нагріванні випромінювало як можна меншу частину поглиненої енергії в інфрачервоному спектрі.

Для оцінки ефективності поглинаючих покриттів застосовуються наступні показники:

- коефіцієнт поглинання (абсорбації), зазвичай знаходиться в межах 0,8-0,98. Даний коефіцієнт представляє собою відношення поглиненої енергії до падаючої;
- коефіцієнт випромінювання (емісії), e - зазвичай у межах 0,95 - 0,02 для різних типів покриттів. Даний коефіцієнт представляє собою відношення випромінювань енергії до поглинання;
- коефіцієнт селективності, a/e, застосовується для порівняння характеристик різних видів поглинаючих поверхонь. Чим вище значення даного коефіцієнта, тим кращими характеристиками володіє поглинаюча поверхня.

Сучасні високоселективні покриття мають дуже високі значення коефіцієнта селективності, значно підвищуючи тим самим ККД сонячних колекторів, (рисунок 1.11). До того ж, практично лише плоскі колектори, оснащені покриттями такого типу, можуть ефективно працювати в холодний період року внаслідок набагато меншої залежності ККД від різниці температур.

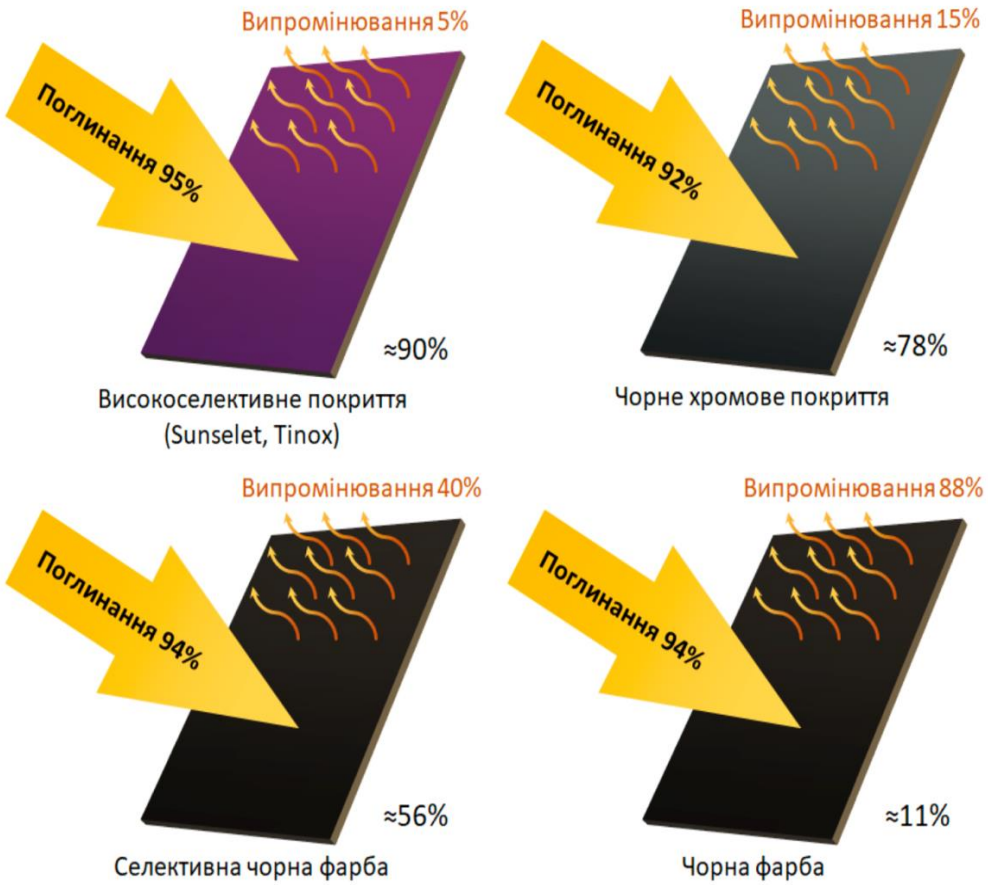
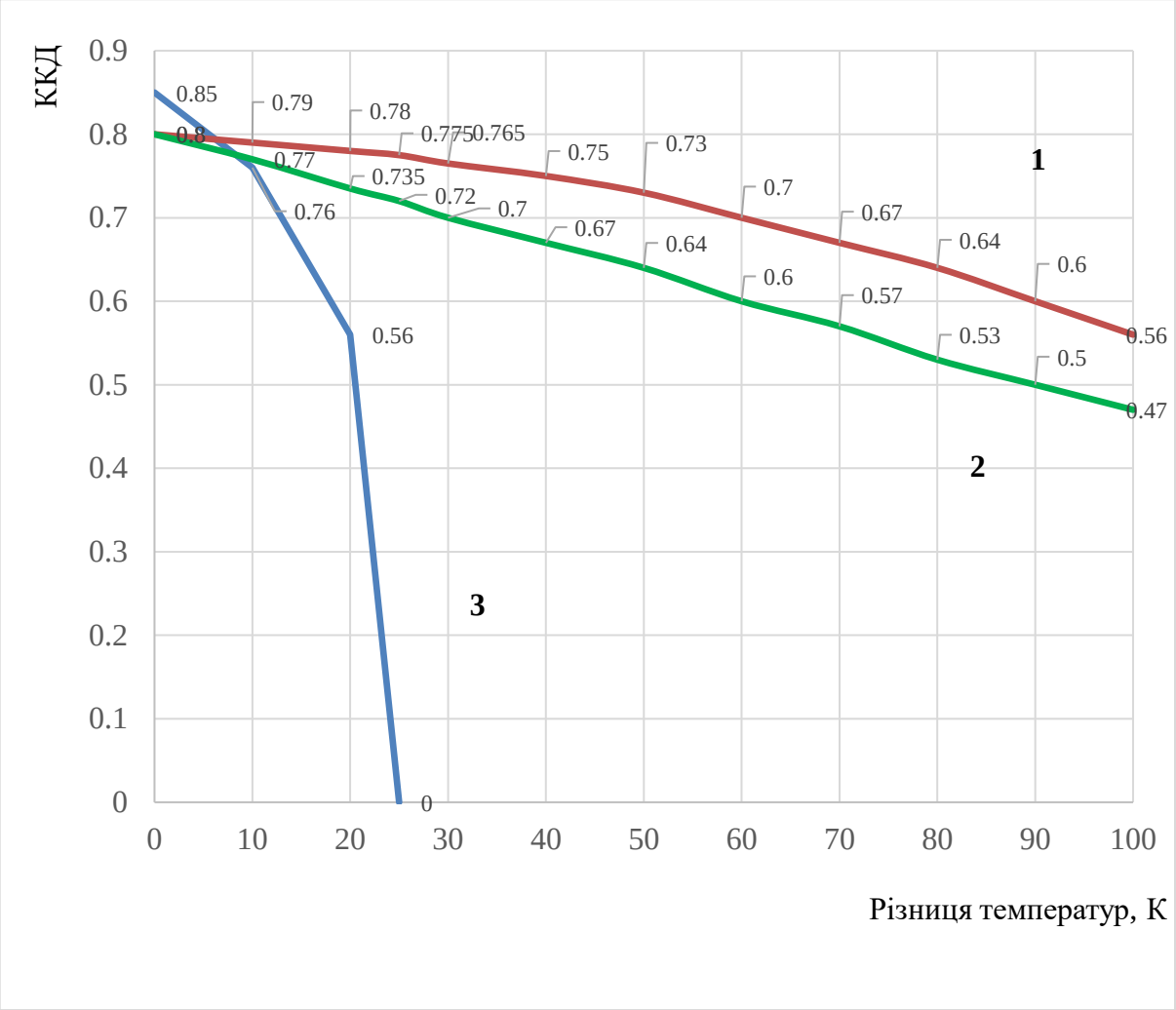


Рисунок 1.11 - Варіанти покриття поглинаючої панелі

Розрізняють кілька видів ККД: ККД колектора за повний день, що виражає відношення сумарної денної кількості тепла до приходу сонячного випромінювання за день; ККД всієї системи, включаючи тепловтрати колекторних труб, та ін.

З метою наочного порівняння характеристик теплової ефективності різних типів колекторів, наведемо графік ККД для трьох розглянутих типів колекторів при потужності сонячного випромінювання в 600 Вт/м^2 (рисунок 1.12).



1 - вакуумний трубчастий колектор; 2 - плоский колектор з селективним покриттям; 3 - відкритий колектор

Рисунок 1.12 - Залежність ККД сонячних колекторів від різниці температур між колектором і повітрям

На даний момент, найбільш перспективними в умовах України є плоскі сонячні колектори гарячого водопостачання, внаслідок всесезонності, простоти і надійності конструкції при невисокій ціні в цьому сегменті устаткування. Геліоколектори встановлюються на даху будівлі під нахилом.

Тепловий насос - це кліматичне устаткування, застосоване для переносу тепла з теплоізольованого середовища. За принципом дії - це «холодильник навпаки». ККД теплового насоса - близько 30...60 %. Вони невибагливі й універсальні завдяки можливості роботи від будь-яких джерел енергії - від

центральної електромережі до сонячних батарей, розташованих на даху будинку. Цілком і повністю безпечний для екосистеми, виявляється до того ж зручним для людини - він дає можливість відмовитися від газового котла опалення, колонки для нагрівання води, системи кондиціювання повітря й інших окремих систем. Комплексна система керування мікрокліматом у приміщенні на базі теплового насоса може вирішити всі ці завдання.

Тепловий насос - термодинамічна установка, в якій теплота від низькопотенційного джерела передається споживачеві при більш високій температурі. При цьому витрачається механічна енергія (рисунок 1.13).

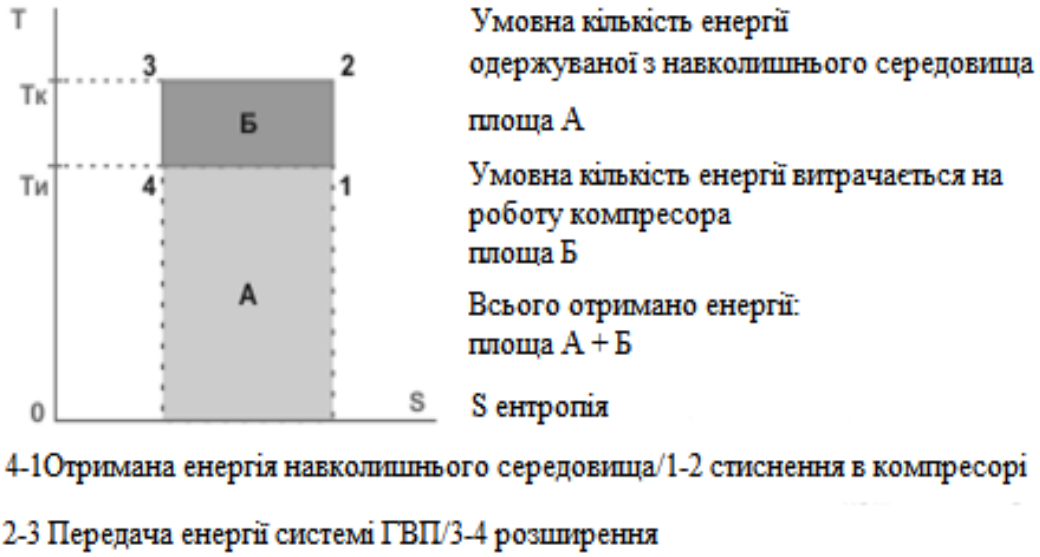
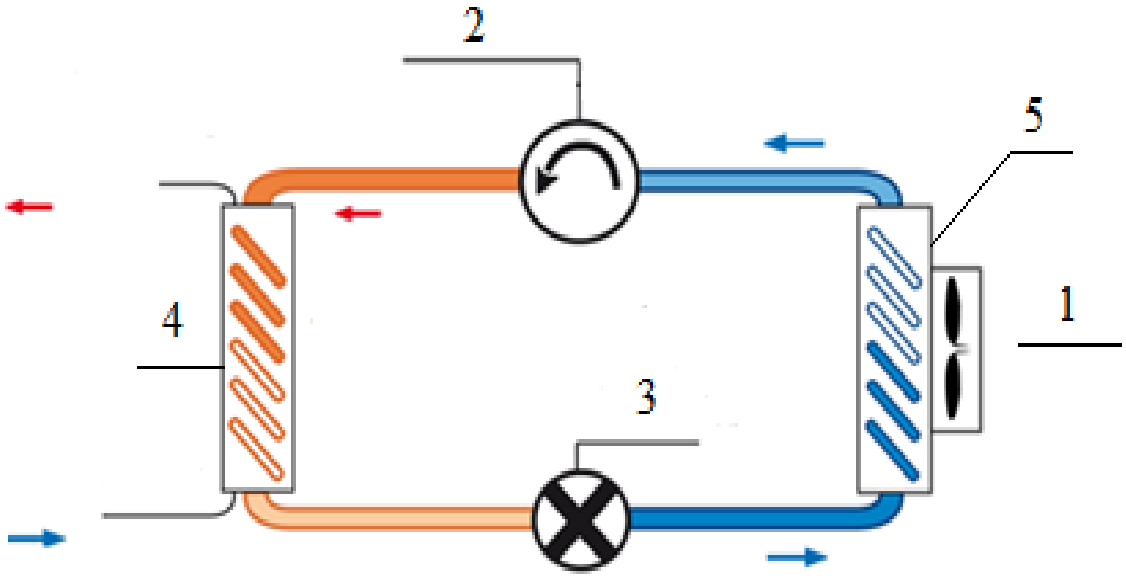


Рисунок 1.13- Схематичне зображення теплонасосного циклу Карно на TS діаграмі

Велику перспективу представляє використання теплових насосів в системах гарячого водопостачання (ГВП) будівель. Здійснюється перетворення теплової енергії навколишнього середовища (повітря, грунту, води, скидного тепла і аналогічних джерел) в теплову або холодильну енергію з необхідною температурою. Для здійснення даного перетворення теплові насоси споживають незначну кількість електричної енергії. Якщо розділити вироблювану ними теплову енергію на 4 частини, то близько 3-х частин цієї

енергії береться з навколишнього середовища. Принцип роботи ТН наведено на рисунку 1.14.



1- тепло повітря; 2- компресор; 3- розширювальний вентиль; 4- теплообмінник; 5- випарник

Рисунок 1.14- Принцип роботи ТН «повітря-вода»

Схематично тепловий насос можна представити у вигляді робочого контуру, що складається з чотирьох основних елементів, - випарника, компресора, конденсатора і скидного клапана. У випарнику теплового насоса циркулює робоче тіло - холодоагент, який не містить хлору, - він знаходиться під низьким тиском і кипить при низькій температурі, при цьому вбираючи тепло низькопотенційного джерела. Після цього робоче тіло стискується в компресорі, який живиться від електричного або іншого двигуна, і подається в наступний теплообмінник - конденсатор, де при високому тиску починає конденсуватися, при цьому, маючи більш високу температуру, холодоагент віддає тепло, виділене при конденсуванні, приймачу тепла, тобто, воді, що циркулює в системі опалення. З конденсатора робоче тіло проходить через дросель і знову потрапляє у випарник. У дроселюючому пристрої тиск холодоагенту знижується. Таким чином цикл замикається, і процес кипіння холодоагенту починається знову.

Тепловий насос здатний відбирати тепло від декількох джерел, наприклад, повітря, води або землі. Таким же шляхом він може скидати тепло в повітря, воду або землю. Тепліше середовище, яке сприймає тепло, називається теплоприймачем. Залежно від типу джерела і приймача тепла, випарник і конденсатор можуть бути виконані як теплообмінники типу «повітря-рідина», так і «рідина-рідина»., і вторинний - вода в системах опалення й гарячого водопостачання будівлі.

Використання сучасних теплових насосів з коефіцієнтом перетворювання більше 3- х забезпечує менше навантаження на мережі електропостачання. Тепловий насос використовує електричну енергію ефективніше будь-яких котлів, які спалюють паливо. Між собою теплові насоси порівнюють за умовною величиною — коефіцієнтом перетворення тепла (КПТ), також це поняття називається коефіцієнтом трансформації тепла, потужності, перетворення температур.

Сучасні теплові насоси типу повітря-вода, що використовують низькотемпературне атмосферне тепло у вигляді відновлюваної сонячної енергії, є, насамперед, екологічно чистим рішенням, виключно простим в установці і обслуговуванні, а також вельми енергоефективним з коефіцієнтом продуктивності (COP), приблизно рівним 4.0.

Тепловий насос привабливий також завдяки низьким рівнем викидів CO_2 під час роботи, постійно доступному джерелу тепла, і низьким інвестиціям порівняно з геотермальними системами. А чудові робочі характеристики в умовах низьких температур і здатність зниження рівня споживання дорогої енергії на 40-80 % є незаперечним доказом для використання теплових насосів повітря-вода в житловому секторі.

Тепловий насос модулює швидкість компресора для відповідності необхідного теплового навантаження в будь-який момент часу за допомогою інверторного управління. Основна перевага даної технології полягає у відсутності відчутних перепадів температури. Тепловий насос може

працювати при -25℃ завдяки використанню фреону R410, який кипить при t= 55℃.

Особливості:

1. Повітря забирається за допомогою практично безшумного осьового вентилятора.

2. Теплові насоси повітря-вода утилізують вільну сонячну енергію навколишнього повітря в діапазоні температур від +35 ° С і до -25 ° С.

3.Дозволяє знизити споживання електричної енергії.

Тепловий насос встановлюють на відкритому повітрі біля будинку. Кожух з порошковим покриттям захищає пристрій від дощу та снігу. Функція захисту від обмерзання дозволяє тепловому насосу якісно працювати навіть при температурі повітря нижче нуля.

Приблизно близько 75 % необхідної енергії отримуємо з навколишнього середовища і тільки 25 % потрібно електроенергії для нагріву води. Дані показники можна порівняти з будь-якими існуючими водонагрівачами і зробити певні висновки.

Додатковою перевагою автономних систем ГВП є її безпосередня близькість до споживача, що знижує перепади температур джерела і споживача.

Оптимально можливе застосування в енергозбереженні - це використовувати сонячні колектори та теплові насоси для гарячого водопостачання.

2 ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ ШЛЯХОМ ВИКОРИСТАННЯ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ

2.1 Характеристика досліджуваного об’єкта

Досліджуваний об’єкт - корпус підприємства, п'ятиповерхова чотирьох під’їзна будівля розмірами 12 × 62 м .

Гаряче водопостачання (ГВП) будівлі здійснюється централізовано від котельні. Спосіб приєднання системи ГВП до системи теплопостачання за закритою схемою. $N_{ГВП}$ = 56,4кВт. Вузол вводу гарячого водопостачання знаходиться в технічному підвалі. Внутрішня система прийнята з верхнім розведенням.

Магістральні трубопроводи, що прокладенні в технічному підвалі, мають задовільний стан. Теплова ізоляція магістральних трубопроводів виконана частково.

На зворотному трубопроводі в якості запірної арматури були встановлені поворотні заслінки. Запірна арматура на подавальному трубопроводі – знаходиться в доброму стані. Періодично виконується ревізія запірної арматури.

В результаті проведення енергоаудиту багатоповерхової будівлі-корпусу було виявлено, що споживання гарячої води за останні п'ять років залишаються незмінними, але тариф на підігрів 1 м^3 води з кожним роком зростає.

2.2 Визначення розрахункових витрат води в системі гарячого водопостачання типової багатоповерхової будівлі

Максимальна секундна витрата води, л/с, визначається за формулою:

$$q^h = 5 \cdot q_o^h \cdot \alpha ; \quad (2.1)$$

де q_0^h – нормативна секундна витрата води водорозбірним пристроєм, л/с;

α – коефіцієнт, що визначається в залежності від загальної кількості водорозбірних пристроїв N та ймовірності їх дії P, яка визначається за формулою:

$$P = \frac{q_{hr,u} \cdot U}{q_o \cdot N \cdot 3600} , \quad (2.2)$$

де q_0^h - норма витрати гарячої води одним споживачем в годину найбільшого водоспоживання, л/год.

Результати розрахунку наведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1- Визначення максимальної секундної витрати води

Найменування	Умовне позначення	Одиниця виміру	Значення
1	2	3	4
Максимальна секундна витрата води	q^h	л/с	1,76
Нормативна секундна витрата води водорозбірним пристроєм	q_0^h	л/с	0,2
Коефіцієнт	α		1,763

Продовження таблиці 2.1

1	*2*	3	4
Кількість приладів	N	Од.	160
Імовірність одночасної дії приладів	P		0,0174
Норма витрати гарячої води користувачем в годину найбільшого водоспоживання	$q_{hr,u}$	л/осіб	10
Кількість водокористувачів	U	чол.	200
Добуток $N \cdot P$			2,778

Максимальна годинна витрата води, м^3/год, визначається за формулою:

$$q_{hr}^{h} = 0{,}005 \cdot q_{o,hr}^{h} \cdot \alpha_{hr}; \qquad (2.3)$$

де $q_{0,hr}^{h}$- годинна витрата води санітарно-технічним пристроєм, л/год;

α_{hr}- коефіцієнт, що визначається в залежності від загальної кількості водорозбірних пристроїв N, що споживають гарячу воду на розрахунковій ділянці мережі та ймовірності їх дії P, яка визначається за формулою:

$$P = \frac{3600 \cdot P \cdot q_{o}^{h}}{q_{o,hr}^{h}}. \qquad (2.4)$$

Результати визначення максимальної годинної витрати води наведені в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2- Визначення максимальної годинної витрати води

Найменування	Умовне позначення	Одиниця виміру	Значення
Максимальна годинна витрата води	q_{hr}^{h}	м^3/год	4,13
Годинна витрата води санітарно-технічним пристроєм	$q_{0,hr}^{h}$	л/год	200
Імовірність використання санітарно-технічних приладів для системи в цілому	P_{hr}		0,0625
Імовірність одночасної дії приладів	P		0,0174
Нормативна секундна витрата води водорозбірним пристроєм	q_0^h	л/с	0,2
Коефіцієнт	α_{hr}		4,126
Добуток	$N \cdot P_{hr}$		10

Середня годинна витрата води, м^3/год, за період (добу) максимального водоспоживання Т визначається за формулою:

$$q_T^h = \frac{\sum_1^i q_u^h \cdot U_i}{1000 \cdot T}; \qquad (2.5)$$

де q_u^h- норма витрати води одним споживачем за добу найбільшого водоспоживання, л/чол.

Результати розрахунку наведені в таблиці 2.3

Таблиця 2.3- Визначення середньої годинної витрати води

Найменування	Умовне позначення	Одиниця виміру	Значення
Середня годинна витрата води	q_T^h	м^3/год	1
Норма витрати води споживачем за добу найбільшого водоспоживання	q_u^h	л/добу	120
Період	T	год.	24
Кількість водокористувачів	U	осіб	200

Максимальна добова витрата води, м^3/добу, визначається за формулою:

$$q_{доб}^h = \frac{q_u^h \cdot U}{1000}; \quad (2.6)$$

де U- кількість водокористувачів;

q_T^h- середня годинна витрата води, м^3/год.

Результати розрахунку наведені в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4-Визначення максимальної добової витрати води

Найменування	Умовне позначення	Одиниця виміру	Значення
Максимальна добова витрата води	$q_{доб,т}^h$	м^3/добу	24
Норма витрати води одним споживачем за добу найбільшого водоспоживання	$q_{доб,т}^h$	л/добу	120
Кількість водокористувачів	U	осіб	200

Середня добова витрата води, м^3/добу, визначається за формулою:

$$q^h_{доб,m} = \frac{q^h_{u,m} \cdot U}{1000}. \quad (2.7)$$

Результати розрахунку наведені в таблиці 2.5.

Таблиця 2.5- Визначення середньої добової витрати води

Найменування	Умовне позначення	Одиниця виміру	Значення
Середня добова витрата води	$q^h_{доб,m}$	м^3/добу	21
Норма витрати води одним споживачем за добу середнього водоспоживання	$q^h_{u,m}$	л/добу	105
Кількість водокористувачів	U	осіб	200

Розрахункове теплове навантаження системи ГВП, кВт за період максимального водоспоживання з урахуванням втрат визначається за формулою:

а) протягом середньої години:

$$Q^h_{hr} = 1{,}163 \cdot q^h_T \cdot (55 - t^c) + Q^{ht}; \quad (2.8)$$

де Q^{ht} - теплові втрати кВт,приймаємо 5 %;

t^c- температура холодної води, приймаємо 5 ^{0}С.

б) протягом години максимального водоспоживання:

$$Q^h_{hr} = 1{,}163 \cdot q^h_T \cdot (55 - t^c) + Q^{ht}.$$

Отримуємо:

$$Q^h_{hr} = 1{,}163 \cdot 1 \cdot (55 - 5) + 1{,}05 = 56{,}4 \quad \text{кВт};$$

$$Q_{hr}^{h} = 1{,}163 \cdot 4{,}13 \cdot (55 - 5) + 1{,}05 = 243 \quad \text{кВт.}$$

Розрахувавши теплове навантаження системи ГВП підбираємо обладнання у розділі 2.4.

2.3 Варіанти системи ГВП

Для вибору найбільш ефективної схеми модернізації розглянемо 3-и варіанти побудови системи відповідно з переліком, наведеним у таблиці 2.6.

Таблиця 2.6- Перелік варіантів ГВП типових будинків

Варіант	Підігрівач	Бак акумулятор
1	Тепловий насос, сонячний колектор	Маленький
2	Електричний котел	Великий
3	Тепловий насос	Великий

Характеристика схем ГВП типових будинків

Перший варіант - використання плоских сонячних колекторів сумісно з тепловим насосом (рисунок 2.1).

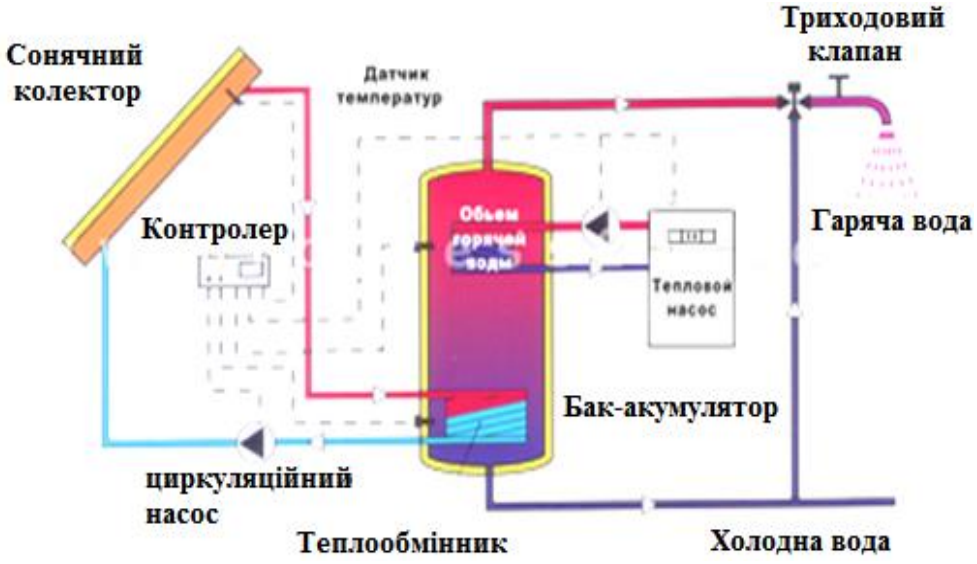


Рисунок 2.1- Системи ГВП на основі ТН та СК

Тепловий насос нагріває воду цілодобово сумісно з сонячним колектором. Ємність баку забезпечує безперебійність роздачі води у пікові часи. Розрахунки здійснюються згідно загального тарифу.

Другий варіант - використання електричного котла (рисунок 2.2).

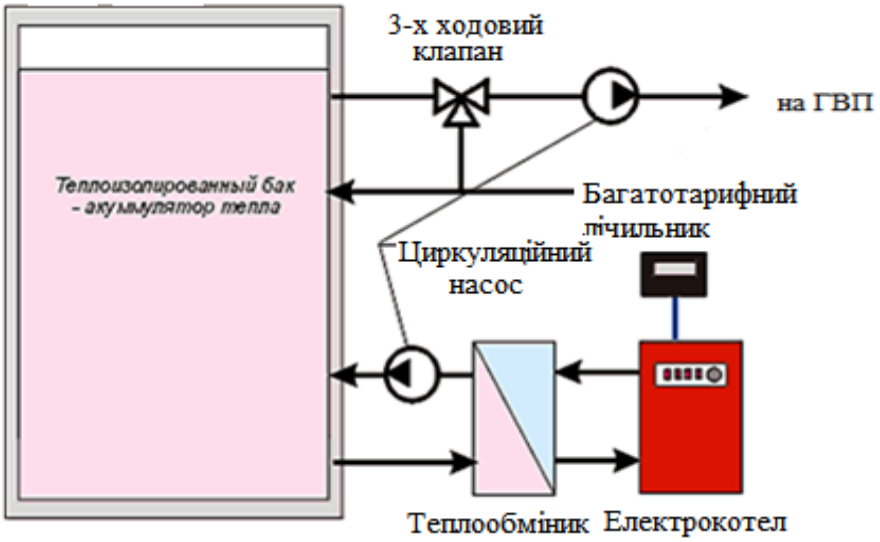


Рисунок 2.2-Системи ГВП на основі електричного котла

Електрокотел нагріває воду в нічний час, гаряча вода накопичується у баку акумулятору. Ємність баку забезпечує роздачу води у денний час. Розрахунки по диференційному тарифу.

Третій варіант - використання теплового насосу (рисунок 2.3).

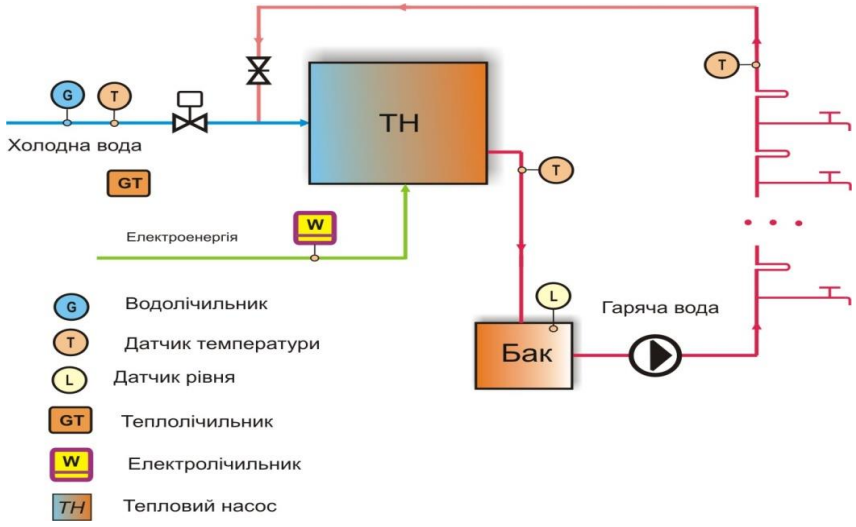


Рисунок 2.3-Система ГВП на основі ТН

Тепловий насос нагріває воду в нічні часи, гаряча вода частково накопичується у баку акумулятору. Ємність баку забезпечує роздачу води у пікові часи. Розрахунки здійснюються згідно диференційного тарифу.

Схема роботи теплового насоса наведена на рис.2.4.

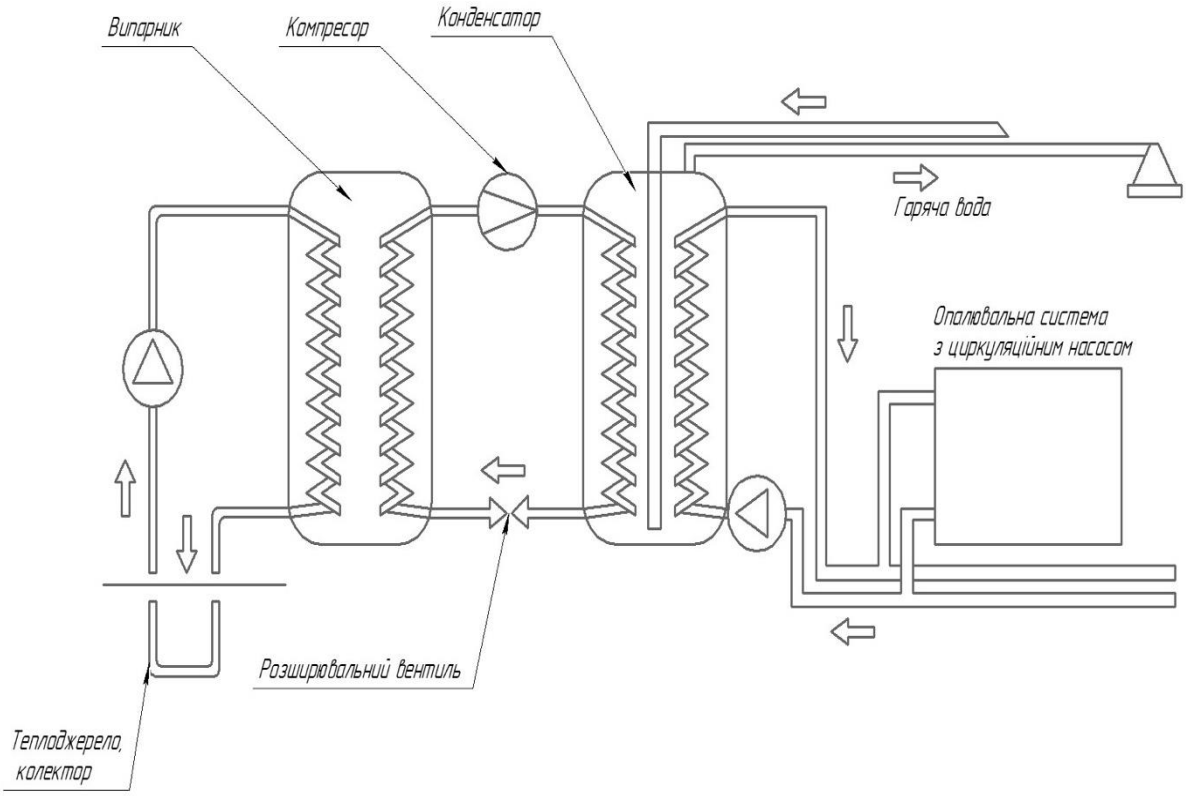


Рисунок 2.4 - Схема роботи теплового насоса

2.4 Вибір основного обладнання системи ГВП з використанням теплового насоса та сонячного колектора

2.4.1 Розрахунок площі сонячного колектора

Для розрахунку площі сонячних колекторів використовуються дані згідно ДСТУ-Н Б В.1.1 – 27:2010 Будівельна кліматологія [12]. Цей стандарт установлює кліматичні параметри, що використовують при проєктуванні

будинків та споруд, системи опалення, вентиляції, водозабезпечення. Кліматологічні характеристики середньомісячної інсоляції на горизонтальну поверхню, кількість діб в місяці, середньомісячна температура зовнішнього повітря °С, середня тривалість сонячного сяяння за місяць наведені у таблиці 2.7.

Таблиця 2.7- Вихідні дані для розрахунку площі сонячних колекторів

№	Місяць	Середньомісячна інсоляція на горизонтальну поверхню, H_T, кВт/м^2 на добу	Кількість діб в місяці	Середньомісячна температура зовнішнього повітря, °С	Середня тривалість сонячного сяяння за місяць, $n_{міс}^{сс}$, год/міс	Кількість годин в місяці, год/міс
1	Січень	1,27	31	2	84	744
2	Лютий	2,06	28	3	95	672
3	Березень	3,05	31	7	159	744
4	Квітень	4,3	30	14	200	720
5	Травень	5,44	31	20	271	744
6	Червень	5,84	30	23	287	720
7	Липень	6,2	31	26	327	744
8	Серпень	5,34	31	26	308	744
9	Вересень	4,07	30	21	240	720
10	Жовтень	2,67	31	15	178	744
11	Листопад	1,55	30	8	115	720
12	Грудень	1,07	31	5	78	744
	Всього		365,0	14,2	2 342	8 760

Розрахуємо густину потоку сонячної радіації I_a Вт/м^2:

$$I_a = \frac{H_T \cdot n_{діб}}{n_{міс}^{сс}}; \quad (2.9)$$

де H_T- середньомісячна інсоляція на горизонтальну поверхню, кВт/(м^2·добу);

$n_{діб}$- кількість діб в місяці;

$n_{міс}^{сс}$- тривалість сонячного сяяння за місяць, год/міс.

Розрахунок за січень:

$$I_a = \frac{1{,}27 \cdot 31}{84} = 468{,}7 \text{ Вт/м}^2.$$

Теплова потужність сонячної системи гарячого водопостачання, Вт, яка розраховується за формулою:

$$Q'_{ГВП} = \frac{Q_{ГВП} \cdot n_{діб} \cdot 24}{n_{міс}^{сс}}; \quad (2.10)$$

де $Q_{ГВП} = 56{,}4$ кВт;

$n_{діб}$ - кількість днів у місяці.

$$Q'_{ГВП} = \frac{56{,}4 \cdot 31 \cdot 24}{84} = 541171 \text{ Вт.}$$

Необхідна кількість теплової енергії на гаряче водопостачання, кВт·год, розраховується за формулою:

$$Q_{ГВП} = 1{,}163 \cdot c \cdot q_{доб,т}^{h} \cdot n_{діб} \cdot (55 - t^c); \quad (2.11)$$

де $q_{доб,т}^{h}$- середня добова витрата води, м^3/добу;

c- питома теплоємність води, 4,2 кДж/(кг·К), або 1 ккал/(кг·К);

t^c- температура холодної води в зимовий період, приймаємо 5 °С;

t^c- температура холодної води в літній період, приймаємо 15°С.

$$Q_{ГВП} = 1{,}163 \cdot 1 \cdot 21 \cdot 31 \cdot (55 - 5) = 37855 \quad \text{кВт·год.}$$

Ефективність сонячного колектора залежить від температури рідини на його вході T_i=5°С в зимовий період, T_i=15 в літній період і середньомісячної температури зовнішнього повітря T_a та визначається за формулою [31]:

$$\eta_{ск} = F_R(\tau\alpha)_n - F_R U_L \frac{(T_i - T_a)}{I_a}; \tag{2.12}$$

де $F_R(\tau\alpha)_n$ - оптичний ККД колектора, приймаємо рівним 0,81-для високоселективного покриття;

$F_R U_L$ −коефіцієнт втрат 3,2 Вт/м^2·°С.

$$\eta_{ск} = 0{,}81 - 3{,}2 \cdot \frac{(5 + 0{,}5)}{84} = 0{,}79.$$

Площу колекторів визначаємо за формулою:

$$F_{ск} = \frac{Q_{ГВП}}{I_a \cdot \eta_{ск} \cdot n_{міс}^{сс}}; \tag{2.13}$$

$$F_{ск} = \frac{37855 \cdot 1000}{468{,}7 \cdot 0{,}79 \cdot 84} = 1217{,}9 \quad \text{м}^2.$$

Розрахунки необхідної площі сонячних колекторів зведені в таблиці 2.8.

Таблиця 2.8 - Розрахунки площі сонячних колекторів

№	Місяць	Густина потоку сонячної радіації, I_a, Вт/м^2	Ефективність СК, $\eta_{ск}$	Теплова потужність сонячної системи ГВП, $Q'_{ГВП}$, Вт	Споживання гарячої води за місяць, м^3	Необхідна кількість теплової енергії, $Q_{ГВП}$, кВт·год	Площа сонячних колекторів, $F_{ск}$, м^2
1	Січень	468,7	0,790	541 171,4	651	37 855,7	1 217,9
2	Лютий	607,2	0,799	432 202,1	588	34 192,2	741,5
3	Березень	594,7	0,821	285 901,9	651	37 855,7	487,8
4	Квітень	645	0,855	219 960	630	36 634,5	332,3
5	Травень	622,3	0,836	167 743,2	651	30 284,5	214,9
6	Червень	610,5	0,852	153 282,2	630	29 307,6	196,4
7	Липень	587,8	0,870	139 016,5	651	30 284,5	181,1
8	Серпень	537,5	0,875	147 592,2	651	30 284,5	209
9	Вересень	508,8	0,848	183 300	630	29 307,6	283,1
10	Жовтень	465	0,879	255 384,3	651	37 855,7	520,4
11	Листопад	404,3	0,834	382 539,1	630	36 634,5	944,9
12	Грудень	425,3	0,8	582 800	651	37 855,7	1 409
	Всього				7 665	408 352,6	181,1

Вибір площі сонячних колекторів проводився за умови, що система покриває 100 % навантаження в липні.

$$F_{ск}=182 \text{ м}^2$$

Розрахувавши площу сонячних колекторів, визначаємо яку кількість теплової енергії отримаємо від сонячного колектора та яку кількість теплової енергії необхідно отримати від теплового насосу, кВт·год, таблиця 2.9.

$$Q_{ск} = F_{ск} \cdot I_a \cdot n_{міс}^{сс} \cdot \eta_{ск} / 1000; \quad (2.14)$$

$$Q_{ск} = 182 \cdot 468{,}7 \cdot 84 \cdot 0{,}79 / 1000 = 5668{,}4 \text{ кВт·год.}$$

Таблиця 2.9- Необхідна кількість теплової енергії від СК та ТН

№	Місяць	Необхідна кількість теплової енергії, кВт·год	Тепло від СК, кВт·год	Покриття потреби в ТЕ від сонця, %	Тепло від ТН, кВт·год	Покриття потреби в ТЕ від ТН, %
1	Січень	37 855,7	5 668,4	15%	32 187,3	85%
2	Лютий	34 192,2	8 409,1	25%	25 783,1	75%
3	Березень	37 855,7	14 151,7	37%	23 703,9	63%
4	Квітень	36 634,5	20 105,2	55%	16 529,3	45%
5	Травень	30 284,5	25 700,8	85%	4 583,7	15%
6	Червень	29 307,6	27 218,9	93%	2 088,7	7%
7	Липень	30 284,5	30 489,2	101%	0	0%
8	Серпень	30 284,5	26 429,3	87%	3 855,3	13%
9	Вересень	29 307,6	18 875,9	64%	10 431,7	36%
10	Жовтень	37 855,7	13 264,8	35%	24 590,8	65%
11	Листопад	36 634,5	7 069,9	19%	29 564,6	81%
12	Грудень	37 855,7	4 899,6	13%	32 956,1	87%
	Всього	408 352,6	202 282,8	50%	206 274,5	50%

Згідно розрахунку будуємо графік виробництва теплової енергії на гаряче водопостачання будівлі (рисунок 2.5).

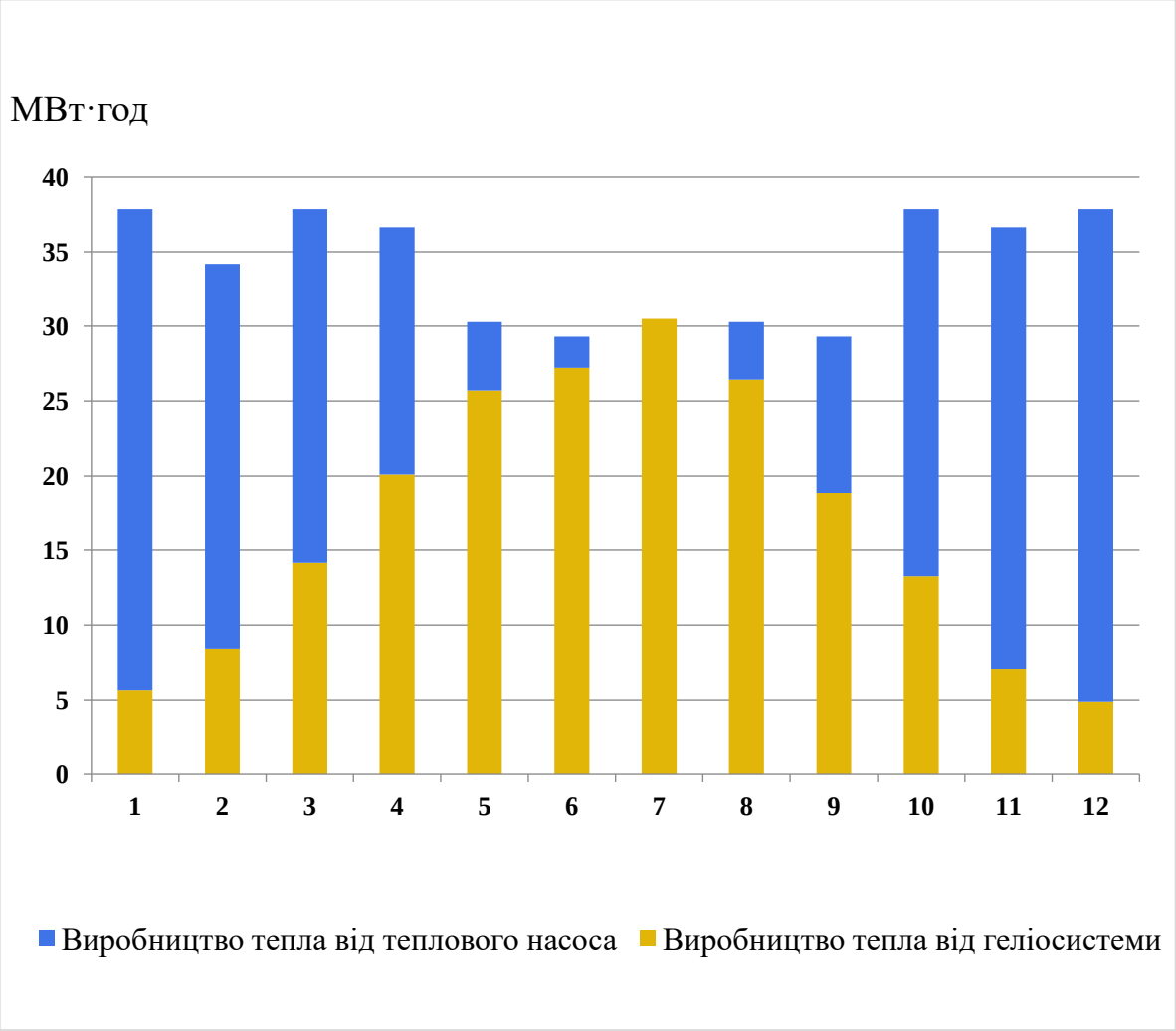


Рисунок 2.5 - Баланс виробництва теплової енергії на гаряче водопостачання

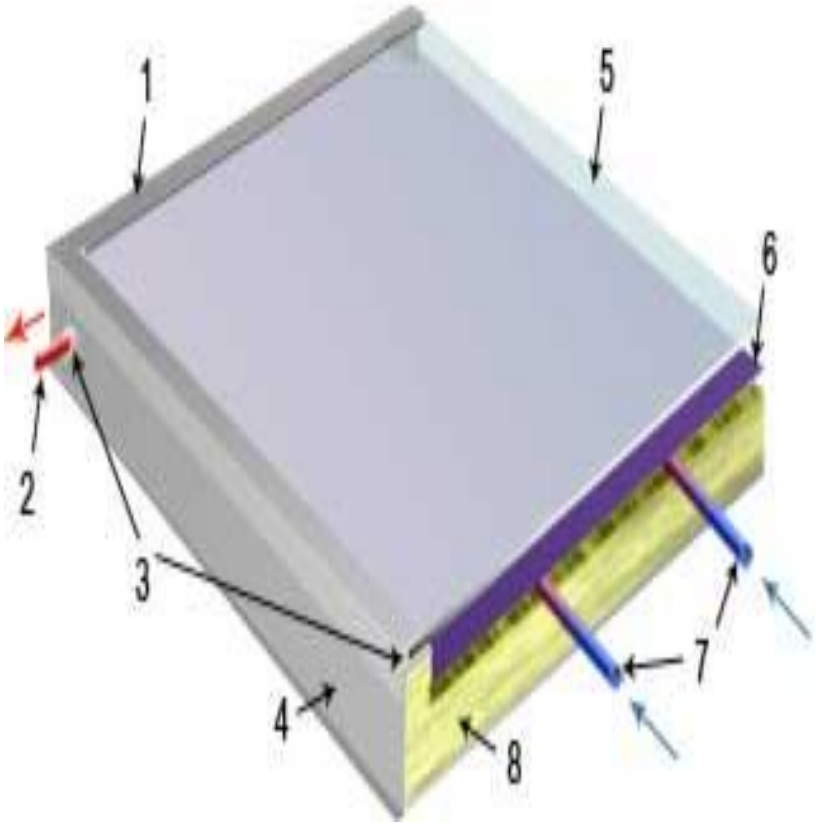
Необхідну площу сонячних колекторів підбираємо згідно найтеплішого місяця, так як у схемі використовується додаткове джерело енергії.

Площа сонячних колекторів становить 182 м^2, технічні характеристики наведені у таблиці 2.11.

Таблиця 2.11-Технічні характеристики сонячного колектора SintSolar CS V3

Найменування показників	Марка-SintSolar CS-V3
Габаритні розміри панелі колектора, мм: довжина ширина висота	 2017 1017 95
Габаритна площа, $м^2$	2,051
Матеріал корпусу	анодований алюміній
Площа теплопоглинальної панелі сонячного колектора, $м^2$	1,88
Матеріал панелі теплопоглинальної	мідь
Поглинаюче покриття	високоселективне
Пропускна здатність	0,95
Коефіцієнт теплового випромінювання поглинаючої панелі	0,05
Кількість шарів прозорої ізоляції	1
Прозора ізоляція	ударостійке скло, 4мм
Оптичний ККД колектора і коефіцієнт ефективності поглинаючої панелі	0,81
Загальний коефіцієнт теплових втрат колектора і коефіцієнт ефективності поглинаючої панелі при нульовій швидкості вітру, $Вт/(м^2 \cdot °C)$	3,2
Теплоносій для геліосистема	пропілєнгліколь/вода
Максимальний робочий тиск теплоносія в колекторі, МПа	0,7
Питомий обсяг каналів поглинаючої панелі, $л/м^2$	0,73
Маса колектора (без теплоносія), кг	40
Маса теплоносія, кг	1,6
Рівноважна температура поглинаючої панелі при I=950 $Вт/м^2$ і $t_{зовн.пов.}$=30 °С	180
Максимальна температура стагнації, °С	219
Строк експлуатації, років	50

Пристрій сонячного колектора SintSolar представлено на рисунку 2.6



1 – знімний притискний куточок; 2 – приєднувальний патрубок; 3 – силіконова гума ущільнювача; 4 – алюмінієвий корпус; 5 – прозора ізоляція (скло зі зниженим вмістом заліза); 6 – мідний абсорбер (теплопоглинаюча панель); 7 – паралельні мідні трубки; 8 – теплоізоляція, товщиною 50 мм.

Рисунок 2.6. Пристрій сонячного колектора SintSolar

Згідно габаритної площі одного колектора, необхідно встановити 98 сонячних колекторів.

Сонячний колектор SintSolar CS-V3(рис.2.7) - це ефективне, екологічне та довговічне рішення, яке дозволяє зменшити енергетичні витрати та зробити внесок у збереження навколишнього середовища.



Рисунок 2.7 – Сонячний колектор CS-V3

Переваги сонячних колекторів SintSolar**:**

1. Сонячні колектори SintSolar забезпечують ефективне перетворення сонячної енергії в теплову.

2. Використовуються високоякісні матеріали, що мінімізують теплові втрати.

3. Використання сонячної енергії зменшує викиди CO_2 і сприяє збереженню довкілля.

4. Альтернатива традиційним джерелам енергії, які залежать від викопного палива.

5. Колектори виготовлені з міцних матеріалів (наприклад, алюміній, боросилікатне скло), які стійкі до корозії та екстремальних погодних умов.

6. Термін служби сонячних колекторів SintSolar становить понад 20 років.

7. Можуть бути використані для нагріву води, опалення будинків, басейнів або навіть для промислових процесів.

8. Підходять як для приватних будинків, так і для великих комерційних об'єктів.

9. Вакуумні трубки або спеціальні покриття дозволяють ефективно працювати навіть у холодну пору року або в умовах низької інтенсивності сонячного світла.

10. Зменшення витрат на традиційні джерела енергії, такі як газ або електрика.

11. Завдяки тривалому терміну служби інвестиції окуповуються через 5-7 років експлуатації.

12. Колектори SintSolar розроблені для швидкого монтажу на дахах чи інших поверхнях.

13. Невибагливі у догляді: регулярне очищення поверхні є достатнім для підтримки ефективності.

14. Можливість інтеграції з традиційними системами опалення або водопостачання.

15. Сумісність із розумними системами управління енергоспоживанням.

16. Продукція SintSolar відповідає міжнародним стандартам якості.

17. Гарантійний термін на більшість моделей становить до 10 років.

18. Колектори мають сучасний вигляд і гармонійно вписуються в архітектурний стиль будівлі.

2.4.2 Вибір теплового насосу

Теплова потужність теплових насосів становить 61 кВт, за умови покриття теплового навантаження у зимовий період на 100 %, технічні характеристики теплового насосу наведені в таблиці 2.12.

Таблиця 2.12-Технічні характеристики теплового насосу Mitsubishi Electric PUHZ-SHWYHA ZUBADAN

Робочі характеристики	Одиниця виміру	Марка -Mitsubishi Electric PUHZ-SHWYHA ZUBADAN
Номінальна теплова потужність	кВт	30,1
Споживана електрична потужність	кВт	9,7
COP(коефіцієнт теплового перетворення)		3,83
Режим роботи		
Мін. температура повітря	°C	-25
Макс. температура води	°C(A-20)	50
	°C(A-5)	60
	°C(+5)	60
Електричні параметри		
Номінальна напруга	380 В/50Гц/ 3ф	
Робоча середа	R410A	
Робочій тиск	МПа	4,15
Компресор	тип	Scrol (Німеччина)

Робоча характеристика теплового насосу при мінімальних температурах зовнішнього повітря наведена на рисунку 2.7.

Загальний вигляд теплового насосу Mitsubishi Electric PUHZ-SHWYHA ZUBADAN наведено на рис.2.8

Зовнішні блоки серії Zubadan від Mitsubishi Electric створені для стабільної роботи навіть у найсуворіших кліматичних умовах. Завдяки впровадженню інноваційної технології «Flash Injection Circuit», тепловий насос зберігає високу продуктивність навіть за значного зниження зовнішньої температури. Ця технологія включає використання байпасного контуру та спеціального теплообмінника, що сприяє покращенню циркуляції холодоагенту, зменшенню навантаження на компресор і підвищенню загальної ефективності системи.

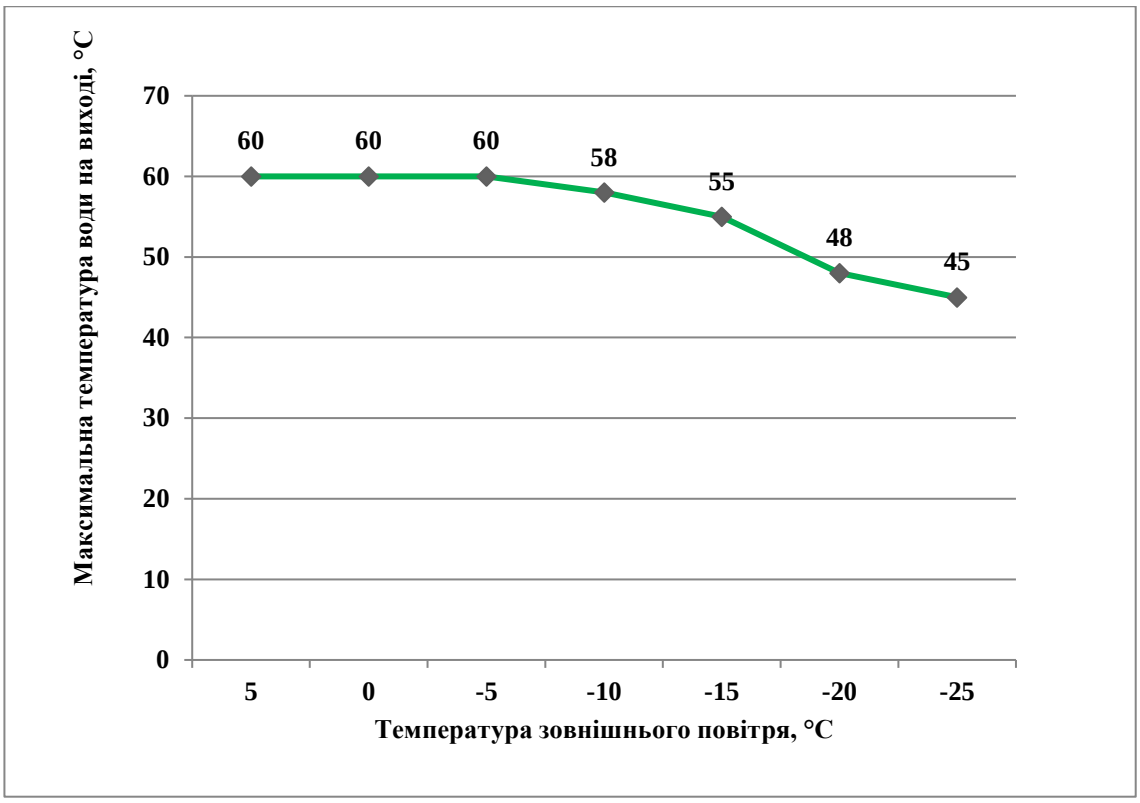


Рисунок 2.7-Робоча характеристики теплового насосу Mitsubishi Electric PUHZ-SHWYHA ZUBADAN



Рисунок 2.8-Загальний вигляд теплового насосу Mitsubishi Electric PUHZ-SHWYHA ZUBADAN

Система Zubadan забезпечує не лише стабільне опалення, але й значно скорочує час відновлення температури після розморожування. Завдяки цим властивостям вона є ідеальним вибором для регіонів із суворими зимами, забезпечуючи ефективне рішення як для житлових, так і для комерційних об'єктів. Крім того, ці блоки повністю сумісні з іншими системами Mitsubishi Electric, такими як Ecodan, що дозволяє створювати інтегровані рішення для опалення.

2.4.3 Розрахунок бака-акумулятора

Для бака-акумулятора теплоти в системі гарячого водопостачання при потужності водонагрівача (генератор теплоти), не забезпечуючи максимального часового споживання теплоти об'єм м^{3}розраховується за формулою[8]:

$$W = \frac{\varphi \cdot T \cdot Q_T^h}{1{,}16 \cdot (55 - t^\circ)}, \tag{2.15}$$

де φ – відносна величина обсягу, що визначається за формулою;

$$\varphi = 1 - K_{hr}^{sp} + (K_{hr}^{ht} - 1) \cdot (\frac{K_{hr}^{sp}}{K_{hr}^{ht}}), \tag{2.16}$$

де K_{hr}^{sp} – коефіцієнт часової нерівномірності подачі води насосами в день (зміну) максимального водоспоживання слід обчислювати за формулою:

$$K_{hr}^{sp} = \frac{Q_{hr}^h}{q_T}; \tag{2.17}$$

де Q_{hr}^{h}- коефіцієнт часовий нерівномірності теплоспоживання системою гарячого водопостачання в період *T*, год (добу, зміна) максимального споживання гарячої води слід обчислювати за формулою:

$$K_{hr}^{sp} = \frac{Q_{hr}^{h}}{Q_T}. \qquad (2.18)$$

Звідси W=8м^3.

Встановлюється 4 баки об'ємом 2м^3.

Технічні характеристики бака-акумулятора з вбудованим теплообмінником SAC 2000 наведені в таблиці 2.12.

Таблиця 2.12-Технічні характеристики бака-акумулятора з вбудованим теплообмінником SAC 2000

Найменування	Одиниця виміру	Марка-SAC 2000
Максимальний робочий тиск	бар	6
Максимальна робоча температура	°С	95
Перекачуюча рідина		гаряча вода
Товщина ізоляції	мм	100
Зовнішнє покриття		біла синтетика
Ємність	л	2000
Габаритні розміри з ізоляцією		
- висота *h*	мм	2200
- діаметр с ізоляцією *Dc*	мм	1350
- діаметр без ізоляції *Ds*	мм	1250
Входи *DN1, DN2, DN3, DN4*		3
Циркуляція *DN5*		3/4
Датчики *DN6*		1/2
Магнієвий анод *DN7*		1 1/4
Злив *DN8*		21/2
Вага	кг	287

Для мінімізації тепловтрат бак-акумулятор (рис.2.9) покритий теплоізолюючою оболонкою з м'якого пінопласту товщиною 100 мм.



Рисунок 2.9 – Бак-акамулятор SAC 2000

SAC 2000 — це циліндричний резервуар, розроблений для акумулювання теплової енергії в системах опалення. Його використовують для запобігання перегріву системи та підвищення ефективності роботи котлів, зокрема твердопаливних. Завдяки вбудованому теплообміннику резервуар може бути підключений до альтернативних джерел енергії, таких як сонячні колектори чи теплові насоси.

Конструкція резервуара забезпечує мінімальні теплові втрати завдяки якісній ізоляції, що сприяє ефективному використанню накопиченого тепла. Модель може бути оснащена одним або кількома змійовиками, що дозволяє адаптувати її для різних потреб, включаючи нагрівання побутової води або підтримання температури в системі опалення.

2.4.4 Вибір циркуляційного насосу

Циркуляційний насос ГВП служить для подачі необхідних витрат і забезпечення необхідного напору гарячої води у споживача. Обираємо згідно витрати гарячої води і необхідного напору:

$$q_{hr}^{h} = 4{,}13 \text{ м}^3/\text{год},$$

$$H_{напір}=19 \text{ м. вод. ст.}$$

Технічні характеристики циркуляційного насосу WILO TOP-1,1Z наведені в табл.2.13.

Таблиця 2.13-Технічні характеристики циркуляційного насосу WILO TOP-1,1Z

Найменування	Марка - WILO TOP-1,1Z
Продуктивність	4,13 м^3/год
Напір	19 м. вод. ст
Електричний двигун: потужність/ частота	1,1 кВт/2900 об/хв
Габаритні розміри	355x190x260
Температура перекачуючої рідини	-10°C до +110°C

Насос з таймером для складання програми роботи насоса, щоб він включався в той час, коли очікується високий рівень споживання гарячої води (зазвичай це ранкові та вечірні години).

Циркуляційний насос Wilo TOP-1,1Z (рис.2.10) належить до серії насосів з мокрим ротором і спеціально розроблений для застосування в системах гарячого водопостачання. Він забезпечує ефективне перекачування рідини завдяки оптимальному балансу гідравлічної продуктивності та надійності.



Рисунок 2.10 - Циркуляційний насос WILO TOP-1,1Z

Серед основних переваг — можливість підключення до одно- або трифазної мережі, клас захисту IP X4D, а також теплоізольований корпус, який сприяє енергозбереженню. Насос виготовлений із високоякісних матеріалів, таких як нержавіюча сталь, бронза або сірий чавун, залежно від конкретної моделі.

2.5 Вибір основного обладнання системи ГВП з використанням теплового насосу

Теплова потужність теплового насосу становить 180 кВт. Передбачається встановлення трьох теплових насосів потужністю 60,1 кВт. Технічні характеристики наведені в таблиці 2.14.

Таблиця 2.14- Технічні характеристики теплового насосу PRG/AW-60,1/DR

Найменування	Одиниця виміру	Марка- PRG/AW-60,1
Параметри електроживлення	V/ph/Hz	380V/3ph/50Hz
Теплова потужність	кВт	60,1
Споживання електроенергії	кВт	15,8
COP		3,8
Максимальна сила струму	А	33,7
Холодоагент		R410A
Вага холодоагенту	г	3500x4
Тип компресора		scroll
Марка компресора		"Copeland"
Тип випарника		пластинчастий
Розрахункова температура нагріву	(°C)	55
Максимальна температура нагріву	(°C)	60
Розміри	мм	2400×1400×2300
Рівень шуму	dB(A)	61
Робочий тиск	МПа	4,15
Вага	кг	287

Об'єм баку-акумулятору становить 21 $м^{3,}$ для забезпечення розбору води протягом доби, кількість баків 7 од. з об'ємом $3м^3$ технічні характеристики баку наведені у таблиці 2.15.

Таблиця 2.15- Технічні характеристики бака-акумулятора

Найменування	Одиниця виміру	Марка-SAC 3000
1	2	3
Максимальний робочий тиск	бар	6
Максимальна робоча температура	°C	95
Перекачююча рідина		гаряча вода
Товщина ізоляції	мм	50
Зовнішнє покриття		біла синтетика
Ємність	л	3000

Продовження таблиці 2.15

1	2	3
Габаритні розміри з ізоляцією		
- висота *h*	мм	2770
- діаметр с ізоляцією *Dc*	мм	1350
- діаметр без ізоляції *Ds*	мм	1250
Входи *DN1, DN2, DN3, DN4*		3"
Циркуляція *DN5*		3/4"
Датчики *DN6*		1/2"
Магнієвий анод *DN7*		1 1/4"
Злив *DN8*		21/2″

Тепловий насос PRG/AW-60,1/DR (рис.2.11) — це інноваційний пристрій, який працює за принципом «повітря-вода» і забезпечує ефективне опалення, охолодження та нагрівання води для житлових чи промислових приміщень. Він адаптований до роботи при низьких температурах зовнішнього середовища, гарантуючи стабільну тепловіддачу навіть у суворих кліматичних умовах.



Рисунок 2.11 - Тепловой насос PRG/AW-60,1/DR

Особливістю цієї моделі є інверторний компресор, який значно підвищує енергоефективність і забезпечує надійну роботу навіть за несприятливих погодних умов. Для оптимальної роботи система може функціонувати в бівалентному режимі, поєднуючись із додатковими джерелами тепла.

Щоб досягти максимальної ефективності, важливо враховувати характеристики приміщення, де планується встановлення насоса, і правильно підібрати відповідну модель. Це дозволить оптимізувати споживання енергії та забезпечити надійну роботу системи.

2.6 Вибір основного обладнання системи ГВП з використанням електричного котла

Потужність котла визначаємо за формулою:

$$Q = c \cdot m \cdot \Delta T / t; \tag{2.19}$$

де c - питома теплоємність води, 4,2 кДж/(кг·К);

m - об’єми рідини на добу;

t - час нагріву, с.

$$Q = 4{,}2 \cdot 21000 \cdot (55 - 5) / 25200 = 171 \quad \text{кВт.}$$

Теплова потужність електричного котла становить 180 кВт. Передбачається встановлення трьох електричних котлів потужністю 60 кВт, технічні характеристики наведені у таблиці 2.16.

Таблиця 2.16-Технічні характеристики електричного котла РТЕ 60

Тип котла	Одиниця виміру	Марка - РТЕ 60
Потужність	кВт	60
Напруга	В	3·230/400, 50Гц,
Струм	А	92
Перетин CYKY	мм^2	35
Робочий тиск	бар	6
Об'єм води	л	30
Максимальна температура води	°С	90
Максимальний робочий надлишковий тиск	кПа	2,5
Приєднувальні розміри	DN	DN40 (G 1 1/2″)
Вага	кг	67
Розміри ш/в/г	мм	582 / 822 / 300
КПД	%	95

Електричний котел РТЕ 60 (рис.2.12) — це потужна одноконтурна система для опалення великих приміщень, що працює на напрузі в 380 В. Він обладнаний кількома ступенями нагріву, які дозволяють регулювати продуктивність в залежності від потреби. Пристрій має інтегровану систему захисту від перегріву та замерзання, а також оснащений елементами, що забезпечують автоматизацію роботи, включаючи можливість підключення до зовнішнього термостата для оптимального керування теплом.



Рисунок 2.12 - Електричний котел PTE 60

2.7 Схема системи ГВП на основі сонячного колектора та теплового насосу

Комбінована система сонячно-електричного акумуляційного теплопостачання функціонує в автоматичному режимі.

До складу системи гарячого водопостачання входять наступні пристрої:

- геліоколектор;
- тепловий насос, для підігріву води;
- бак - акумулятор, утеплений;
- клапани, фільтри, крани, регульовані затвори;
- циркуляційний насос;

- датчики температури, тиску;
- витратомір води, електролічильник, обчислювач теплової енергії;
- блок керування.

Накопичення тепла в баку-акумулятору надходить від 2-х джерел теплопостачання: сонячного колектора (геліоустановки) та теплового насоса.

Системи геліоустановки та теплового насоса є незалежними і керуються окремими контролерами допомогою керуючих функцій.

Обидві системи, так само як обладнання, що входить до їх складу, функціонують як би незалежно один від одного.

У режимі роботи обидві системи працюють паралельно відповідно до конфігурації. У цьому випадку геліоустановка забезпечує базове навантаження, що вимагається для покриття добової потреби в гарячій воді, а частину необхідного тепла виробляє тепловий насос. При такій організації тепловий насос, як правило, включається в нічні години, забезпечуючи подачу в накопичувальний бак води, нагрітої до необхідної температури і використовуваної в ранкові години нового дня, коли сонячний колектор з об'єктивних причин не в змозі працювати з повним навантаженням.

Навесні, влітку і восени тепловий насос справляється з піковими навантаженнями. У зимовий час тепловий насос забезпечує базове навантаження та частину теплової енергії покриває сонячний колектор.

Теплова енергія в бак-акумулятор (БА) накопичується за допомогою сонячної енергії. Якщо різниця температур, яка реєструється датчиком температури сонячного колектора і датчиком температури, встановленим в нижній частині БА, перевищує встановлену на сонячному контролері температуру, то включається циркуляційний насос геліоконтура - відбувається накопичення тепла в БА. Відключення геліосистеми відбувається при досягненні температури, яка вимірюється датчиком температури БА, встановленим на контролері значення.

Тепловий насос (ТН) вступає в роботу, коли температура, яка вимірюється датчиком температури у верхній частині БА, нижче встановленої

на сонячному контролері. Відключення теплового насоса відбувається при досягненні температури, вимірюваної верхнім датчиком температури БА, вище встановленої на сонячному контролері.

У випадку, коли температура, яка вимірюється верхнім датчиком БА, вище заданого на контролері значення температури, нагрівання бака-акумулятора геліосистемою достатній, тепловий насос не вступають в роботу.

Для виключення утворення накипу в накопичувальних баках гарячої води SAC 2000л, передбачено після точки врізання в мережу живлення устаткування очищення.

Насосна група - служить для циркуляції теплоносія в колекторному контурі. Насос керується термостатом і вмикається, як тільки температура сонячного колектора стане вищою ніж в бойлері. Потужність насосної групи залежить від: довжини мідних магістралей, кількості колекторів, розміру бака-акумулятора та в середньому складає 50 Вт.

Контролер - служить для контролю за станом геліосистеми та процесом нагріву від сонячних колекторів. Контролер отримує інформацію від давачів тепла. Контролює величину тепла на виході з колекторів, температуру води в бойлері, величину тепла на виході з теплового насосу. Згідно отриманих даних, контролер виконує наступні операції: вибирає режим роботи насосної групи - регулюючи швидкість протоку теплоносія, вмикає-вимикає тепловий насос, захищає обладнання від перегріву. Таким чином, використання контролера покращує роботу системи забезпечуючи оптимальну циркуляцію теплоносія в ранковий, вечірній час та в похмурі періоди.

Крім того, для антибактеріальної захисту температура у водяному баку регулярно підвищується до заздалегідь заданої температури ($t_{макс}$=70°C). Параметри роботи теплового насоса відображаються на великому зручному дисплеї. Панель управління дозволяє настроїти всі параметри.

У даних системах сонячний колектор розміщується на даху будинку та забезпечує поглинання сонячної енергії, перетворюється в тепло, передане воді, що у баку-накопичувачі (бойлері), встановленому в підвалі будівлі. Електронні

контролери забезпечують оптимальні параметри циркуляції теплової енергії в системі та дозволяють підтримувати задану температуру. Тепловий насос встановлюється біля будинку.

3 РОЗРАХУНОК ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ЗАПРОПОНОВАНИХ ЗАХОДІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ

3.1 Оцінка капітальних витрат

Капіталовкладення – грошове вираження сукупних витрат на нове будівництво, транспортних, торговельних та інших підприємств, на житлове, комунальне і культурно-побутове будівництво. До капітальних вкладень відносять також витрати на монтаж обладнання, придбання машин, устаткування, інструменту господарського інвентарю. Розглядаються три варіанти модернізації системи ГВП.

Першим варіантом передбачається встановлення плоских сонячних колекторів сумісно з тепловим насосом, вартість обладнання наведена в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1- Вартість обладнання першого варіанту ГВП на основі теплового насосу та сонячного колектору

Найменування	Кількість, од.	Вартість одиниці, тис.грн	Усього тис.грн
1	3	4	5
Тепловий насос Mitsubishi Electric PUHZ-31SHWYHA ZUBADAN	2	170	340
Плаский сонячний колектор SintSolar CS-V3	98	5	490
Бак-акумулятр SAC 2000	4	15	60
Насос циркуляційний WILO TOP-1,1Z	1	8	8
Насосна група SintSolar P/S8 для СК (комплект)	1	20	20
Насосна група SintSolar P/S8 для ТН (комплект)	1	16	16
Контролер SintSolar K5 для СК	1	3	3

Продовження таблиці 3.1

1	2	3	4
Контролер SintSolar K5 для ТН	1	3	3
Опірні конструкції(комплект)	98	0,5	49
Трьохходовий вентиль	2	2	4
Інше обладнання та матеріали			80
Всього			1073

Загальний обсяг капіталовкладень у проект визначається за формулою:

$$K = B_{ОБ} \cdot (1 + \frac{k_{ТР}}{100} + \frac{k_{М}}{100}); \quad (3.1)$$

де $B_{ОБ}$ – вартість обладнання;

$k_{ТР}$ – коефіцієнт, що враховує витрати на упакування і транспортування (10-13% від ціни обладнання);

$k_{М}$ – коефіцієнт, що враховує витрати на монтаж обладнання та пусконалагоджувальні роботи (10-20% від вартості обладнання).

Сумарні капіталовкладення складають:

$$K = 1073 \cdot \left(1 + \frac{10}{100} + \frac{20}{100}\right) = 1394{,}94 \text{ тис.грн.}$$

Другим варіантом передбачається встановлення електричного котла, вартість обладнання наведена в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2- Вартість обладнання другого варіанту ГВП з використанням електричного котла

Найменування	Кількість, шт	Вартість одиниці тис.грн	Усього тис.грн
1	3	4	5
Електричний котел РТЕ 60	3	40	120

Продовження таблиці 3.2

1	3	4	5
Бак-акумулятор (3000л)	7	95	665
Насос циркуляційний WILO TOP-1,1Z	1	8	8
Трьохходовий вентиль	2	2	4
Багатотарифний електролічільник	1	3	3
Насосна група SintSolar P/S8 (комплект)	1	20	20
Контролер SintSolar K5	1	3	3
Інше обладнання та матеріали			35
Всього			858

Сумарні капіталовкладення складають:

$$K = 858 \cdot \left(1 + \frac{10}{100} + \frac{20}{100}\right) = 1115{,}4 \text{ тис.грн.}$$

Сумарні капіталовкладення при 20% знижки на обладнання складають:

$$K = 686{,}4 \cdot \left(1 + \frac{1}{100} + \frac{20}{100}\right) = 892{,}32 \text{ тис.грн.}$$

Третім варіантом передбачається встановлення теплових насосів, вартість обладнання наведена в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3- Вартість обладнання третього варіанту ГВП на основі теплового насосу

Найменування	Кількість, шт	Вартість одиниці тис.грн	Усього тис.грн.
1	3	4	5
Тепловий насос Mitsubishi Electric PUHZ-31SHWYHA ZUBADAN	3	170	510
Бак-акумулятр (3000л)	7	95	665
Насос циркуляційний WILO TOP-1,1Z	1	8	8

Продовження таблиці 3.3

1	2	3	4
Трьохходовий вентиль	2	2	4
Багатотарифний електролічільник	1	3	3
Насосна група P/S8 (комплект)	1	20	20
Контролер SintSolar K5	1	3	3
Інше обладнання та матеріали			70
Всього			1283

Сумарні капіталовкладення складають:

$$K = 1283 \cdot \left(1 + \frac{10}{100} + \frac{20}{100}\right) = 1667{,}9 \text{ тис.грн.}$$

Сумарні капіталовкладення при 20% знижки на обладнання складають:

$$K = 1026{,}4 \cdot \left(1 + \frac{1}{100} + \frac{20}{100}\right) = 1334{,}32 \text{ тис.грн.}$$

3.2 Розрахунок експлуатаційних витрат на ГВП

Експлуатаційні витрати - витрати на утримання та експлуатацію обладнання, які є складовою експлуатаційних витрат, включають в себе амортизаційні відрахування на обладнання, вартість палива і запасних частин, зарплату ремонтників і деякі інші, які й визначають собівартість продукції.

Експлуатаційні витрати в даному випадку представляють собою частину собівартості продукції. Експлуатаційні витрати виконується для трьох варіантів системи ГВП. Електричне споживання групою насосного обладнання не враховується так як присутнє у трьох варіантів.

Для першого варіанту, використання плоских сонячних колекторів сумісно з тепловим насосом, експлуатаційні витрати складаються з витрат на

обслуговування (5% від вартості обладнання) та витрат на спожиту електроенергію тепловим насосом визначаються за формулою:

$$E = B_{ОБС} + B_{ТН}; \quad (3.2)$$

де $B_{ОБС}$ - витрати на обслуговування;

$B_{ТН}$ - витрати на електричну енергію.

Собівартість 1 Гкал, що виробляється тепловим насосом та сонячним колектором, становить:

$$Собівартість = E / Q; \quad (3.3)$$

де E - загальні експлуатаційні витрити, тис.грн;

Q – необхідна кількість теплової енергії за рік, Гкал.

Вартість підігріву 1м^3 води від автономної системи ГВП при використані теплового насосу та сонячного колектора становить:

$$Ц_{П} = V \cdot n \cdot; \quad (3.4)$$

де n - норматив витрати теплової енергії необхідної для підігріву 1 м^3, Гкал/м^3;

V – обсяг води, що підігрівається м^3;

P – тариф однієї гігакалорії, грн/Гкал.

Експлуатаційні показники наведені у таблиці 3.4.

Таблиця 3.4- Експлуатаційні показники теплового насосу та сонячного колектора

Найменування	Одиниця виміру	Значення
Необхідна кількість теплової енергії на потреби ГВП	тис.кВт·год	408,35
Виробництво теплової енергії від ТН	тис.кВт·год	206,27
Виробництво теплової енергії від СК	тис.кВт·год	202,28
COP(коефіцієнт перетворення)		3,2
Споживання електроенергії	тис.кВт·год	64,459375
Витрати на обслуговування	тис.грн	53,65
Тариф на електричну енергію	грн/кВт·год	3,4
Витрати на електричну енергію	тис.грн	219,13
Загальні експлуатаційні витрити	тис.грн	272,78
Тариф на підігріву 1м^3 води	грн/м^3	38,87

Для другого варіанту, використання електричного котла, експлуатаційні витрати складаються з витрат на обслуговування та витрат на спожиту електроенергію електричним котлом. Розрахунки експлуатаційних показників наведені у таблиці 3.5.

Таблиця 3.5- Експлуатаційні показники при використанні електричного котла

Найменування	Одиниця виміру	Значення
Необхідна кількість теплової енергії на потреби ГВП	тис.кВт·год	408,3
Виробництво теплової енергії від ЕК	тис.кВт·год	408,3
Споживання електроенергії	тис.кВт·год	428,7
Витрати на обслуговування	тис.грн	42,9
Тариф на електричну енергію	грн/кВт·год	1,73
Витрати на електричну енергію	тис.грн	741,651
Загальні експлуатаційні витрати	тис.грн	784,5
Собівартість 1 Гкал	грн/Гкал	2241
Тариф на підігріву 1м^3 води	грн/м^3	112,05

Для третього варіанту, використання теплових насосів, розрахунки експлуатаційних показників наведені у таблиці 3.6.

Таблиця 3.6- Експлуатаційні показники теплового насосу

Найменування	Одиниця виміру	Значення
Необхідна кількість теплової енергії на потреби ГВП	тис.кВт·год	408,35
Виробництво теплової енергії від ТН	тис.кВт·год	408,35
СОР(коефіцієнт перетворення)		3,2
Споживання електроенергії	тис.кВт·год	127,6
Витрати на обслуговування	тис.грн	64,15
Тариф на електричну енергію	грн/кВт·год	1,73
Витрати на електричну енергію	тис.грн	220,7
Загальні експлуатаційні витрати	тис.грн	284,85
Собівартість 1 Гкал	грн/Гкал	813,8
Тариф підігріву 1м^3 води	грн/м^3	40,69

Розрахунки експлуатаційних та капітальних витрат наведені на (рисунку 3.1) для трьох варіантів модернізації.

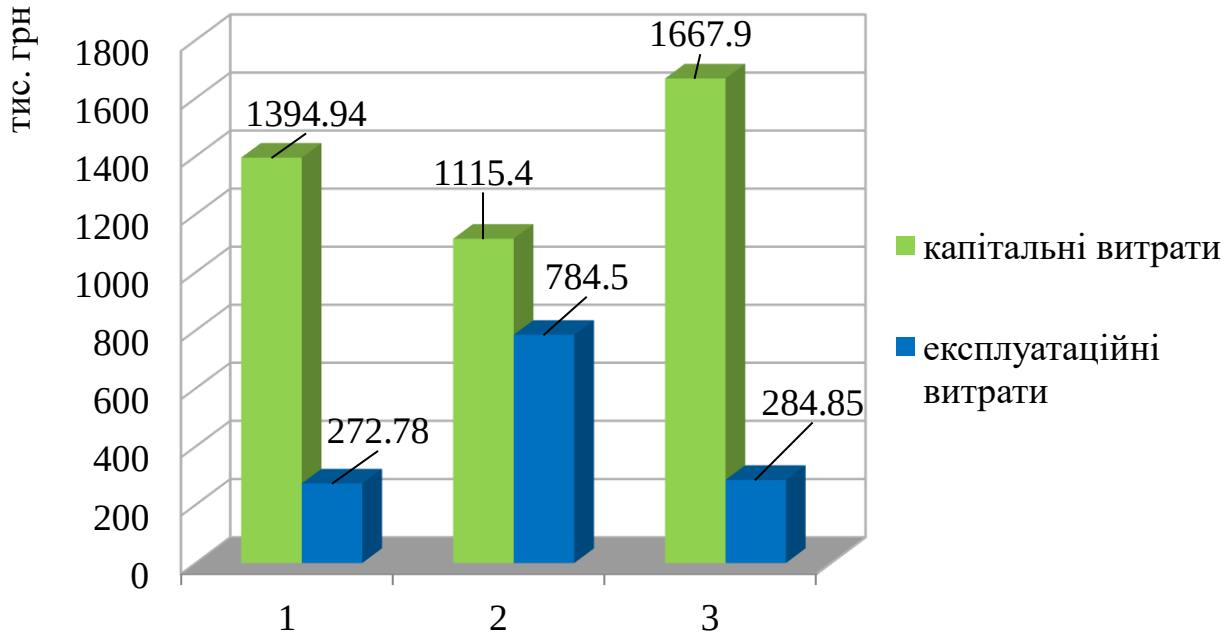


Рисунок 3.1- Оцінка капітальних та експлуатаційних витрат для трьох варіантів модернізації

Вартість підігріву 1м^3 води від автономної системи ГВП при використані: теплового насосу та сонячного колектору; електричного котла, теплового насоса порівняно з централізованим теплопостачанням наведена на (рисунку 3.2).

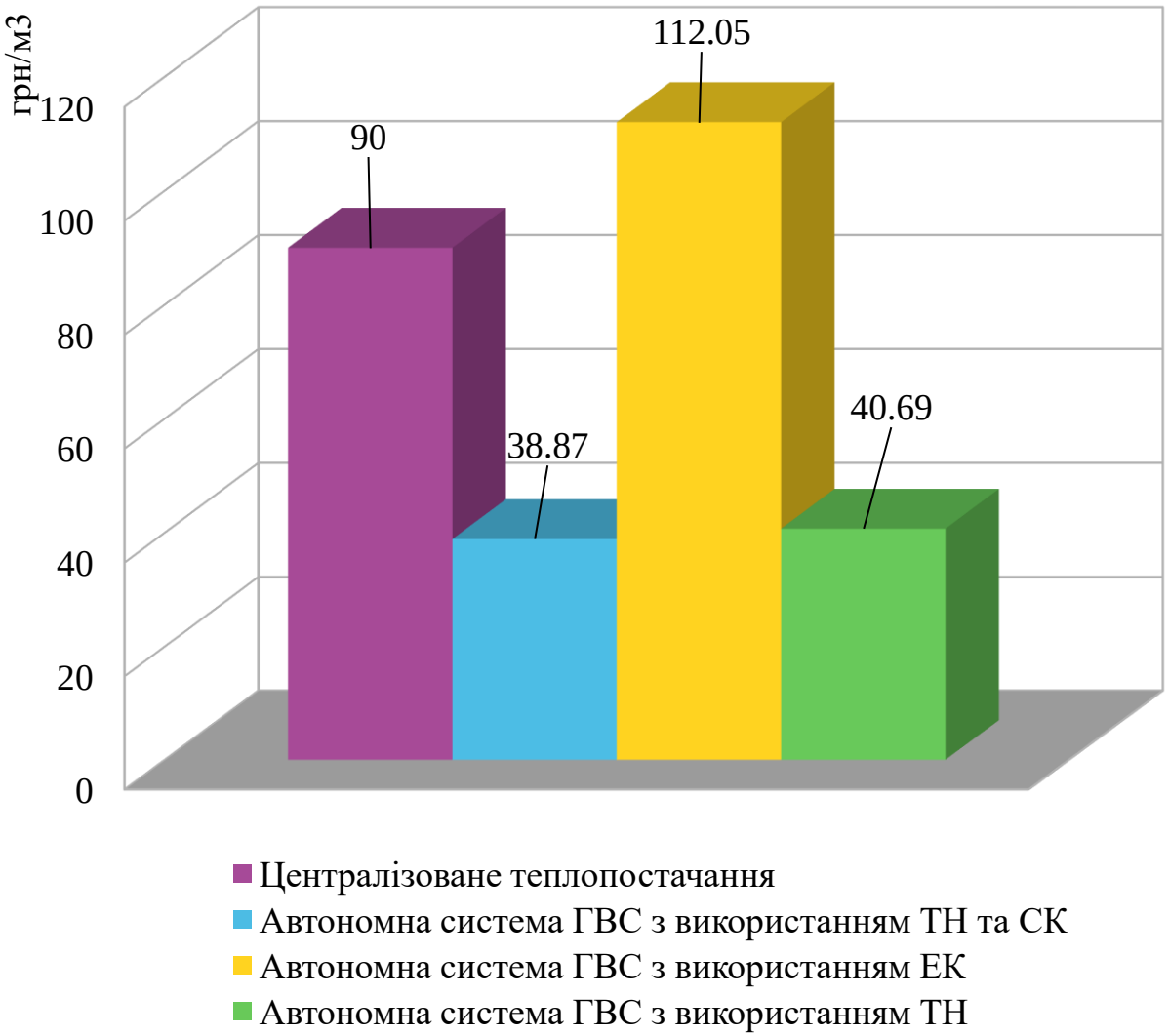


Рисунок 3.2- Тариф на підігрів 1м^3 води

Розрахувавши капітальні та експлуатаційні витрати трьох запропонованих варіантів модернізації системи ГВП можна зробити висновки, другий варіанту хоч і забезпечує менші інвестиційні витрати, але значні експлуатаційні витрати та потребує значні потужності для живлення, які на

даний час забезпечити не має можливості. Перший варіант хоч і має значні інвестиційні витрати, але вартість підігріву 1м^3 в два рази менша ніж від ЦТ, за допомогою сонячної енергії отримаємо 50% теплової енергії, малі експлуатаційні витрати, порівняно з третім варіантом. Впровадження третього варіанту хоч і дає можливість знизити собівартість підігріву 1 м^3 води, але потребує великі об'єми баків-акумуляторів, які неможливо розмістити у підвальному приміщенні.

3.3 Визначення економічного ефекту та економічної ефективності проекту

Економічна ефективність запропонованого проекту використання автономної системи ГВП полягає в оцінці економічного ефекту, одержуваного за рахунок різниці витрат на підігрів 1м^3 вод. Економія Вартість підігріву 1м^3 води від автономної системи ГВП при використані: теплового насосу та сонячного колектору; електричного котла, теплового насоса порівняно з централізованим теплопостачанням наведена за формулою:

$$E = B - B_{TH,CK}; \quad (3.5)$$

де B - експлуатаційні витрати при централізованому теплопостачанні;

$B_{TH,CK}$- експлуатаційні витрати при використані ТН та СК.

Тариф на підігрів 1м^3 води від централізованого теплопостачання становить 90 грн/м^3, споживання гарячої води за рік становить 7665 м^3/рік.

$$B = 7665 \cdot 90 = 689{,}850 \quad \text{тис.грн.}$$

Тариф на підігрів 1м^3 води від автономної системи ГВП при використані теплового насосу та сонячного колектора становить 38,87 грн/м^3.

$$B = 7665 \cdot 38{,}87 = 297{,}938 \quad \text{тис.грн.}$$

Отже, економія від впровадження автономної системи ГВП з використанням теплового насосу та сонячного колектора становить:

$$E = 689{,}850 - 297{,}938 = 391{,}9 \text{ тис.грн.}$$

Простий термін окупності капіталовкладень розраховується за формулою:

$$T_{ок} = \frac{K}{E}; \quad (3.6)$$

де K – обсяг капіталовкладень у проект;

E – річна економія;

$$T_{ок} = \frac{1394{,}94}{391{,}912} = 3{,}55 \text{ роки.}$$

Тариф на підігрів 1м^3 води від автономної системи ГВП при використані теплового насосу становить 40,69 грн/м^3.

$$B_{TH} = 7665 \cdot 40{,}69 = 311{,}88 \text{ тис.грн;}$$

$$E = 689{,}950 - 311{,}88 = 377{,}9 \text{ тис.грн;}$$

$$T_{ок} = \frac{1667{,}9}{377{,}97} = 4{,}4 \text{ роки.}$$

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі проведено аналіз стану впровадження відновлюваних джерел енергії в Україні. Встановлено, що після руйнувань, завданих енергетичній інфраструктурі внаслідок військових дій, розвиток ВДЕ став пріоритетним напрямом для забезпечення стабільного та екологічно чистого енергопостачання. Згідно плану переходу енергетичного сектору України на відновлювані джерела енергії (ВДЕ) до 2050 року передбачено значне збільшення використання сонячних колекторів для виробництва теплової енергії. Цей сценарій передбачає, що сонячні колектори разом з тепловими насосами стануть основними джерелами теплової енергії, поступово витісняючи викопні види палива, що сприятиме підвищенню енергетичної безпеки країни. Тому саме цьому ці питання розглянуті у роботі.

У даній роботі була розглянута можливість переходу від централізованої системи ГВП на автономну з використанням відновлюваних джерел енергії. Розглянуті особливості автономних систем ГВП з використанням відновлюваних джерел енергії. Для цього було розглянуто три варіанти модернізації системи ГВП на основі: теплового насосу і сонячного колектору; електричного котла; теплового насосу.

Проаналізувавши три запропонованих варіантів модернізації системи ГВП можна зробити висновки, другий варіант хоч і забезпечує менші капітальні витрати, але значні експлуатаційні витрати та потребує значні потужності для живлення, які на даний час забезпечити немає можливості. Перший варіант хоч і має великі капітальні витрати, але вартість підігріву 1м^3 в два рази менша ніж від централізованого теплопостачання, за допомогою сонячної енергії отримаємо 50% теплової енергії, малі експлуатаційні витрати, порівняно з третім варіантом. Впровадження третього варіанту хоч і дає можливість знизити собівартість підігріву 1 м^3 води, але потребує великі об'єми баків-акумуляторів, які неможливо розмістити у підвальному приміщенні.

Строк окупності впровадження автономної системи ГВП з використанням теплового насосу та сонячного колектора склав - 3,55 роки; теплового насоса- 4,4 роки та встановлення лише електричного котла- економічно не вигідно. Найбільш ефективною є система на основі теплового насоса і сонячного колектора. За рахунок сонячної енергії можемо виробити 202 МВт · год/рік (174 Гкал/рік) теплової енергії.

Розрахунки підтвердили економічну доцільність та перспективність впровадження систем з відновлюваними джерелами енергії.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Центр Разумкова. Сектор відновлюваної енергетики України до, під час та після війни [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://razumkov.org.ua/statti/sektor-vidnovlyuvanoyi-energetyky-ukrayiny-do-pid-chas-ta-pislya-viyny. – Назва з екрана. – Дата звернення: 01.10.2024.

2. Кабінет Міністрів України. Енергетична стратегія України на період до 2050 року [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/go/373-2023-p. – Назва з екрана. – Дата звернення: 01.10.2024.

3. Zakernezhad H., Soleimani A., Mohabbati M. Renewable Technologies: Advantages, Disadvantages and Strategic Policies // arXiv preprint arXiv:2404.16073, 2024. – 15 p.

4. United Nations Development Programme (UNDP). Ukraine's Green Recovery: Opportunities in Renewable Energy Sector [Електронний ресурс]. – New York: UNDP, 2023. – 96 p. – Режим доступу: https://www.undp.org/ukraine-green-recovery-report. – Назва з екрана. – Дата звернення: 01.10.2024.

5. International Renewable Energy Agency (IRENA). Renewable Energy Prospects for Ukraine: REmap Analysis 2022. – Abu Dhabi: IRENA, 2022. – 128 p. – Режим доступу: https://www.irena.org/ukraine-remap-analysis. – Назва з екрана. – Дата звернення: 01.10.2024.

6. Кудря С. О., Дудукалова Г. І., Кудря О. С. Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії: навчальний посібник. – Вінниця: ВНТУ, 2012. – 492 с.

7. Відновлювані джерела енергії: монографія / за ред. С. О. Кудрі. – Київ: ІВЕ НАН України, 2020. – 300 с.

8. Сегеда М. С., Олійник М. Й., Дудурич О. Б. Нетрадиційні та відновлювані джерела електроенергії: навчальний посібник. – Київ: Видавництво Ліра-К, 2019. – 204 с.

9. Зелена Хвиля. Відновлювальні джерела енергії: огляд основних технологій // Екоклуб "Зелена Хвиля" [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://ecoclubua.com/rizne/knyha-vidnovni-dzherela-enerhiji/. – Назва з екрана. – Дата звернення: 30.01.2025.

10. Загальні відомості про відновлювальні нетрадиційні джерела енергії // Енергетика в Україні [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://energetika.in.ua/ua/books/book-5/part-1/section-1. – Назва з екрана. – Дата звернення: 10.10.2024.

11. Відновлювані джерела енергії: види та методи їх використання // Електронний архів КПІ ім. Ігоря Сікорського [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/30134/1/VDE_MV.doc. – Назва з екрана. – Дата звернення: 10.10.2024.

12. ДСТУ–Н Б В.1.1–27:2010. Будівельна кліматологія. – Офіц. вид. – Київ: Мінрегіонбуд України, 2010. – 98 с.

13. Ніконорова В. Н. Аналіз ефективності впровадження сонячних колекторів в Україні // В.Н. Ніконорова / Вісник Сумського національного аграрного університету.– Випуск 3 (28). – 2016. – С.145 – 147.

14. Pinamonti, Maria, Baggio, Paolo. Energy and economic optimization of solar-assisted heat pump systems with storage technologies for heating and cooling in residential buildings // Renewable Energy. – 2020. – Vol. 157(C). – P. 90–99. – DOI: https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.12.054.

15. Chen, J.F., Zhang, L., Dai, Y.J. Performance analysis and multi-objective optimization of a hybrid photovoltaic/thermal collector for domestic hot water application // Energy. – 2018. – Vol. 143(C). – P. 500–516. – DOI: https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.10.134.

16. Evangelisti, Luca, De Lieto Vollaro, Roberto, Asdrubali, Francesco. Latest advances on solar thermal collectors: A comprehensive review // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2019. – Vol. 114(C). – P. 1–1. – DOI: https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109303.

17. Білоус О. М. Методи розрахунку сонячних теплових надходжень / О.М.Білоус // Будівельні конструкції. – 2013. – Вип. 77. – С. 188–191.

18. Пахолюк О. А. Дослідження роботи пласких сонячних повітряних колекторів / О.А. Пахолюк, А. Л. Ящинський // Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві. – 2015. – Вип. 4. – С. 139 – 144.

19. Majid Z. A. A. et al. Multifunctional solar thermal collector for heat pump application //Proceedings of the 3rd WSEAS int. conf. on renewable energy sources. – 2009. – С. 342-346.

20. Дудюк Д.Л., Мазепа С.С., Гнатишин Я.М. Нетрадиційна енергетика: Навчальний посібник. Львів: Магнолія плюс, 2007. 262 с.

21. Шевцов А.І., Бараннік В.О., Земляний М.Г., Ряузова Т.В. Стан та перспективи реформування системи теплозабезпечення в Україні. Аналітична доповідь. Дніпропетровськ: Регіональний філіал Національного інституту стратегічних досліджень, 2010. 66 с.

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

23. Онищенко В., Шкуров І., Дяденко В. Сонячна енергетика в Україні: аналіз та роль у забезпеченні економічної безпеки // Економіка регіонів. – 2022. – №1. – С. 6.

24. Dovgalyuk O. et al. Analysis of Operation Modes of Electric Networks with Solar Power Plants / 2020 IEEE 4th International Conference on Intelligent Energy and Power Systems (IEPS), Istanbul, Turkey, 2020, pp. 196-201.

25. Арсеньєв В. М., Мелейчук С. С. Теплові насоси: основи теорії і розрахунку: навчальний посібник. – Суми: Сумський державний університет, 2018. – 364 с.