НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
Факультет електроенерготехніки та автоматики
Кафедра відновлюваних джерел енергії

«На правах рукопису»
УДК 621.311

До захисту допущено:
Завідувач кафедри
Василь БУДЬКО

_____
«____»_____2024 р.

Магістерська дисертація
на здобуття ступеня магістра
за освітньо-професійною програмою
«Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії»
зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
на тему:

«Комплексна система енергозабезпечення приватного будинку на основі використання теплових насосів»

Виконав:
студент ІІ курсу, групи ЕД-21мп
Гончарова Дар'я Андріївна _____
Науковий керівник:
Доцент, канд. техн. наук
Вишневська Юлія Павлівна _____
Консультант з _____
Рецензент: _____

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.
Студент _____

Київ – 2024 року

Факультет електроенерготехніки та автоматики

Кафедра відновлюваних джерел енергії

Рівень вищої освіти	другий (магістерський)
Спеціальність	141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
Освітньо-професійна програма	«Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
Василь БУДЬКО

_____
«____»_____2024 р.

ЗАВДАННЯ

на магістерську дисертацію

студенту Гончаровій Дар'ї Андріївні

1. Тема дисертації: «Комплексна система енергозабезпечення приватного будинку на основі використання теплових насосів», науковий керівник дисертації Вишневська Юлія Павлівна, доцент, канд. техн. наук, затверджені наказом по університету від «_____» листопада 2023 р. № 3260-с.
2. Термін подання студентом дисертації: «_12_» січня 2024 р.
3. Об'єкт дослідження: Процеси перетворення енергії відновлюваних джерел у комплексній локальній енергосистемі приватного домоволодіння на основі сонячної електростанції та теплонасосної установки.
4. Вихідні дані: розробити проєкт будинку з урахуванням місцевих особливостей.
5. Перелік завдань, які потрібно розробити:

а) аналіз вимог і потреб споживача: ретельно вивчити потреби приватного будинку, включаючи теплове та електричне споживання, а також гаряче водопостачання. Визначити вимоги до температури та обсягу опалення;

б) вибір місця для теплового насосу: визначити оптимальне місце для встановлення теплового насосу та системи енергозабезпечення (СЕС), зокрема, розглянути варіанти для буріння свердловин, розташування колекторів та інфраструктури;

в) технічне проєктування теплового насосу: розробити технічний проект для теплового насосу, включаючи вибір типу насосу (повітря-вода), розрахунок потужності та контрольно-вимірювального обладнання;

г) технічне проєктування СЕС: розробити технічний проект для системи енергозабезпечення, включаючи вибір джерела електроенергії (сонячні панелі, вітряні генератори тощо), розрахунок потужності, зберігання електроенергії, та системи управління;

ґ) економічний аналіз: розрахувати економічну ефективність проекту, включаючи витрати на інвестиції та очікувані економічні вигоди (зменшення витрат на опалення, гарячу воду, виробництво електроенергії тощо);

д) розробити схему підключення сонячних панелей до інвертору;

е) охорона праці.

6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу:

а) плакат (назва магістерської дисертації);

б) опис проєкту;

в) план будинку і опис основних параметрів;

г) схема підключення фотомодулів до інвертору;

ґ) розроблення стартап-проекту та оцінка терміну окупності.

7. Орієнтовний перелік публікацій: 2 тези в міжнародному науково-технічному журналі молодих учених, аспірантів і студентів: «Використання теплових насосів в багатоповерховому будинку для опалення та постачання гарячої води», 2023р.; «Комплексна система енергозабезпечення приватного будинку на основі використання теплових насосів», 2023р.

8. Дата видачі завдання «____» _____ 2023 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Робота з літературою і написання вступу	02.09.2023 – 12.09.2023	
2	Короткий огляд теплових насосів типу повітря-вода	13.09.2023 – 30.09.2023	
3	Короткий огляд сонячних електростанцій	02.10.2023 – 20.10.2023	
4	Розрахунок теплових втрат будинку	21.10.2023 – 10.11.2023	
5	Вибір обладнання і розрахунок дахової сонячної електростанції	11.11.2023 – 21.11.2023	
6	Розробка стартап-проєкту	22.11.2023 – 10.12.2023	
7	Охорона праці	11.12.2023 – 30.12.2023	
8	Оформлення роботи і підготовка до захисту	02.01.2024 – 10.01.2024	

Студент Дар’я ГОНЧАРОВА

Науковий керівник Юлія ВИШНЕВСЬКА

РЕФЕРАТ

Звіт про НДР: 72 с., 19 табл., 11 рис., 20 джерела.

Об’єкт дослідження - процеси перетворення енергії відновлюваних джерел у комплексній локальній енергосистемі приватного домоволодіння на основі сонячної електростанції та теплонасосної установки.

Предмет дослідження – визначення складу та оптимальних параметрів комплексної локальної енергосистеми на основі сонячної електростанції та теплонасосної установки для забезпечення опалення та гарячого водопостачання приватного житлового будинку.

Мета роботи – визначення складу та оптимальних параметрів комплексної локальної енергосистеми на основі сонячної електростанції та теплонасосної установки для забезпечення опалення та гарячого водопостачання приватного житлового будинку. У роботі проведений розрахунок теплового насосу для забезпечення комфортних умов проживання. З метою повністю покрити електричне навантаження насосу був проведений розрахунок джерела живлення – системи з сонячних модулів.

Методи дослідження – подальше вдосконалення методу енергозабезпечення за рахунок теплоти навколишнього середовища та технічних рішень, спрямованих на зниження тепловтрат та реалізації системи опалення і водопостачання, та розрахунок активного джерела живлення для зменшення витрат на електричне постачання протягом року.

Наукова новизна – сукупність технічних рішень, які дають змогу реалізувати комплексну систему енергозабезпечення та гарячого водопостачання приватного будинку в режимі нетто нульового споживання в кліматичних умовах міста Харкова.

ТЕПЛОВИЙ НАСОС ТИПУ ПОВІТРЯ-ВОДА, СОНЯЧНА ЕЛЕКТРОСТАНЦІЯ, ТЕПЛОВТРАТИ.

ABSTRACT

The master's thesis consists of: sheets – 72, tables – 19, drawings – 11, list of references – 20.

Object of research. Processes of energy conversion of renewable sources in a complex local power system of a private household based on a solar power plant and a heat pump unit.

Subject of research. Determination of the composition and optimal parameters of an integrated local power system based on a solar power plant and a heat pump unit to provide heating and hot water supply to a private residential building.

Purpose of the study. To establish the parameters of the processes of generating and supplying thermal energy using the earth's energy and passive solar energy to provide heating and hot water supply to a private house located in Kharkiv. In this study, our focus was on designing a heat pump system to ensure optimal living conditions. To meet the electrical load requirements of the pump, we incorporated a solar module system as a power source. This approach not only addresses the need for comfortable living conditions but also emphasizes sustainability, utilizing renewable solar energy to power the system.

Methods of research. Further improvement of the method of energy supply from ambient heat and technical solutions aimed at reducing heat losses and implementing heating and water supply systems, and calculation of an active power supply to reduce electricity costs during the year.

Scientific novelty. Is a set of technical solutions that enable the implementation of an integrated energy supply and hot water supply system for a private house in a net zero consumption mode in the climatic conditions of Kharkiv.

Key words: groundwater heat pump, solar power plant, heat loss.

ЗМІСТ

Перелік умовних позначень, символів, скорочень і термінів 9

Вступ 10

1 Розділ Загальна характеристика теплових насосів типу повітря-вода 12

1.1 Внесок теплових насосів у глобальні зусилля з позбавлення від використання викопних палив 12

1.2 Міжнародні стандарти 13

1.3 Типи конструкцій 16

1.3.1 Спліт-системи 16

1.3.2 Моноблочні системи 17

1.3.3 Інтегровані (зливні) системи 18

1.3.4 Схід-західні (бі-блочні) системи 19

1.4 Вибір теплового насосу 21

Висновок до розділу 1 22

2 Розділ Вибір обладнання та розрахунок теплового насосу і системи гарячого водопостачання 23

2.1 Розташування та опис об’єкта 23

2.2 Вихідні дані 23

2.3 Втрати теплоти через огороджувальні конструкції 25

2.4 Визначення коефіцієнтів теплопередачі огороджувальних конструкцій 26

2.5 Визначення площ огороджувальних конструкцій 28

2.6 Визначення втрат теплоти через огороджувальні конструкці 28

2.7 Витрати теплоти на нагрівання інфільтраційного повітря 29

2.8 Середньорічне та річне споживання теплоти на опалення 32

2.9 Витрати теплоти на гаряче водопостачання 32

2.10 Вибір теплового насоса 34

2.11 Розрахунок системи ГВП 35

2.11.1Розрахунок накопичувального баку 35

Висновок до розділу 2 37

3 Розділ Розоахунок резервного джерела теплопостачання 38

3.1 Розрахунок мережевої сонячної електростанції 38

3.2 Вибір сонячних модулів 42

3.3 Вибір інвертору 44

Висновок до розділу 3 45

4 Розділ Охорона праці 46

4.1 Технічні рішення та організаційні заходи з безпеки експлуатації робочих приміщень та основного технологічного обладнання 46

4.2 Електробезпека 47

4.3 Пожежна безпека 47

4.4 Охорона праці при встановленні сонячних панелей 48

4.5 Експлуатація сонячних батарей 49

5 Розділ Розробка стартап-проєкту 51

5.1 Мета розробки стартапу 51

5.2 Ідея стартап-проєкту 51

5.3 Тарифи на електроенергію та газ 53

5.4 Технологічний аудит стартап-проєкту 54

Загальні висновки 57

Список використаної літератури 59

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

ЄС – Європейський Союз

ВДЕ – відновлювальні джерела енергії

ДБН – Державні будівельні норми

ДСТУ – Державний стандарт України

ЗУ – закон України

ISO – International Organization for Standardization

CO2 – вуглекислий газ

U – коефіцієнт теплопередачі

СЕС – системи енергозабезпечення

tco - середня температура зовнішнього повітря за опалювальний період

D - Кількість градусо-діб опалювального періоду

tвн - розрахункова температура внутрішнього повітря

R – опір теплопередачі

Q – споживання теплової енергії/теплові втрати

ВСТУП

Однією із ключових тем життя у теперішньому часі є енергозабезпечення, ефективне використання ресурсів та збереження навколишнього середовища. Зростаючі витрати на енергію та погіршення екологічної ситуації вимагають розробки та впровадження нових, більш сталих та ефективних методів енергозабезпечення. Приватні будинки, які велику частину споживаної енергії споживають для опалення, гарячого водопостачання та електроенергії, є ключовим об'єктом для впровадження інноваційних рішень у галузі енергетики.

У цьому контексті комплексні системи енергозабезпечення на основі теплових насосів стають об'єктом активного дослідження та розвитку. Теплові насоси є технологією, яка дозволяє ефективно використовувати низькопотенційну теплову енергію з навколишнього середовища для опалення та гарячого водопостачання, знижуючи при цьому викиди парникових газів та споживання природних ресурсів. Комплексні системи енергозабезпечення, які об'єднують в собі різні джерела енергії та ефективно розподіляють їх, стають перспективним рішенням для забезпечення сталого розвитку та зменшення негативного впливу на довкілля.

Ця дисертація спрямована на дослідження, аналіз та розробку комплексних систем енергозабезпечення приватних будинків на основі використання теплових насосів. Вона розглядає важливість впровадження таких систем, їх переваги, технічні аспекти та потенційні виклики. Дисертація докладно вивчає технічні аспекти встановлення та обслуговування теплових насосів у приватних будинках, враховуючи вибір насоса, його інтеграцію з іншими системами та регулярне технічне обслуговування для забезпечення надійності та продуктивності.

Дисертація також розглядає потенційні виклики, пов'язані з впровадженням систем енергозабезпечення на основі теплових насосів, такі як вартість встановлення та відновлення інфраструктури. За всіма цими труднощами стоїть обов'язок приватних будинків удосконалювати свої системи

енергозабезпечення для підтримки сталого розвитку та зменшення навантаження на природне середовище.

Метою цієї дисертації є сприяння розвитку та впровадженню комплексних систем енергозабезпечення приватних будинків на основі теплових насосів, які враховують технічні, економічні та екологічні аспекти. Надіємося, що результати дослідження та рекомендації, представлені у цій дисертації, сприятимуть подальшому розвитку цієї важливої сфери та сприятимуть сталому розвитку суспільства.

Ця дисертація складається з ряду розділів, які докладно розглядають всі аспекти комплексних систем енергозабезпечення на основі теплових насосів та СЕС. У кожному розділі проводяться дослідження, аналіз та надаються рекомендації для подальшого розвитку та впровадження таких систем.

1 РОЗДІЛ. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕПЛОВИХ НАСОСІВ ТИПУ ПОВІТРЯ-ВОДА

1.1 Внесок теплових насосів у глобальні зусилля з позбавлення від використання викопних палив

У контексті сучасних глобальних викликів стосовно змін клімату та стійкості енергетичних систем, теплові насоси виступають важливим елементом стратегій з позбавлення від використання викопних палив. Розглядаючи їх роль у глобальних зусиллях, можна виділити декілька ключових аспектів.

Позначення енергетичної трансформації. Теплові насоси, як ключовий компонент в системах використання теплової енергії, позначають стадію енергетичної трансформації, спрямовану на перехід від традиційних викопних джерел енергії до відновлювальних. Їх ефективність та здатність генерувати тепло та холод з природних джерел, таких як повітря чи ґрунт, забезпечують перспективний внесок у мету створення сталого енергетичного майбутнього.

Сприяння сталому розвитку. Використання теплових насосів сприяє концепції сталого розвитку, яка враховує потреби сучасного покоління, не позбавляючи можливість задоволення потреб майбутніх поколінь. Їх використання допомагає зменшити екологічний відбиток та забезпечити енергетичну стійкість, що є ключовими складовими сталого розвитку.

Глобальні кліматичні зобов'язання. Теплові насоси відіграють значущу роль у виконанні глобальних кліматичних зобов'язань, що передбачені різними міжнародними угодами та домовленостями. Зменшення використання традиційних енергетичних джерел та зниження викидів CO_2 підкреслює важливість переходу до технологій, які базуються на відновлювальних джерелах енергії, серед яких теплові насоси визначаються як ключовий компонент.

Сприяння зеленому будівництву. Впровадження теплових насосів в будівельній галузі активно сприяє концепції "зеленого будівництва". Їх використання дозволяє створювати енергоефективні та екологічно чисті будівлі,

зменшуючи енергетичні витрати та покращуючи якість оточення для мешканців.

Інтеграція теплових насосів у концепції Smart Cities [2]. У контексті концепції «розумних міст», теплові насоси можуть стати важливою ланкою для створення енергоефективних та стійких до змін житлових інфраструктур. Їх інтеграція у сучасні міські системи може сприяти енергетичній стійкості, зменшенню викидів та забезпеченню комфортного середовища для мешканців.

Вплив теплових насосів на глобальну енергетичну безпеку. Розгляд впливу теплових насосів на глобальну енергетичну безпеку включає аспекти забезпечення різноманітності енергетичних джерел, зменшення залежності від викопних палив та забезпечення сталої та доступної енергії для різних регіонів світу.

Соціально-економічні вигоди використання теплових насосів. Використання теплових насосів також визначається соціально-економічними вигодами, такими як створення нових робочих місць у сфері виробництва та обслуговування технології, зменшення енергетичної бідності та підвищення якості життя через зменшення енергетичних витрат.

Проведення кампаній та проектів світових організацій. Дослідження та аналіз кампаній та проектів, ініційованих світовими організаціями, свідчить про загальний інтерес та важливість використання теплових насосів у глобальному контексті. Підтримка та фінансування таких ініціатив може значно покращити їх широкомасштабне впровадження та внесок у розвиток сталої енергетики.

1.2 Міжнародні стандарти

Міжнародні стандарти грають важливу роль у регулюванні та стандартизації теплових насосів. Вони визначають вимоги до якості, безпеки та ефективності цих пристроїв, забезпечуючи якість та надійність на ринку. У цій роботі ми розглянемо значення міжнародних стандартів для теплових насосів та їх роль у регулюванні цієї галузі. Однак, щоб тепловий насос вважався придатним до встановлення у споживача, він повинен відповідати наступним

критеріям представленим в табл. 1.1 [15].

Таблиця 1.1 – Критерії теплового насосу

№ з/п	Критерій	Значення / Вимога
1	Тип теплового насосу	Повітря-вода
2	Тип робочої речовини	Екологічно чиста робоча речовина
3	Температурний діапазон роботи	Від низьких до високих температур
4	Коефіцієнт корисної дії (ККД)	Високий (зазвичай понад 3.0)
5	Ефективність при низьких температурах	Здатність працювати при низьких температурах без втрат ефективності
6	Викиди парникових газів	Мінімальні викиди парникових газів
7	Захист від перевищення тиску	Наявність системи безпеки та аварійного вимкнення
8	Ефективність при низькому рівні шуму	Мінімальний рівень шуму під час роботи
9	Експлуатаційний термін служби	Довгий термін служби без потреби в серйозному обслуговуванні
10	Енергоефективність	Споживання мінімальної кількості електроенергії для виробництва тепла
11	Вартість	Доступна цінова категорія
12	Легкість в установці та обслуговуванні	Проста установка та невимоглива обслуговування
13	Сертифікація	Відповідність міжнародним стандартам та наявність сертифікатів

Ці критерії визначають вимоги до теплового насосу типу ґрунт-вода, зокрема щодо його технічних характеристик, екологічних показників, безпеки та інших аспектів. Наявність таких критеріїв допомагає споживачам обирати найкращі рішення для своїх потреб у опаленні та гарячому водопостачанні.

Один з основних аспектів міжнародних стандартів для теплових насосів - це технічні вимоги. Вони включають в себе параметри, такі як потужність, ККД (коефіцієнт корисної дії), температурний діапазон роботи, шумові показники та

інші характеристики, які визначають ефективність та продуктивність теплового насосу. Ці вимоги дозволяють виробникам розробляти та виготовляти пристрої, які відповідають міжнародним стандартам та задовольняють потреби споживачів.

Безумовно, окрім того, в країнах Європи вимагається вказання у паспорті кожної будівлі її класу енергоефективності. Це робиться з метою легкості розрахунку витрат на утримання будівлі (табл. 1.2) [16].

Україна також активно розвиває культуру будівництва енергоефективних будинків. Треба визначити, що більшість новобудов відповідає класу "нові будівлі", що означає, що річні втрати тепла приблизно становлять 150 кВт×год/м^2. Покрім того, крім шкоди навколишньому середовищу, експлуатація такого житла не вигідна для тих, хто оплачує опалення..

З урахуванням зростаючого інтересу до сталого розвитку та збереження навколишнього середовища, міжнародні стандарти для теплових насосів включають екологічні вимоги. Вони регулюють викиди парникових газів та вимагають використання екологічно чистих робочих речовин.

Також встановлюються стандарти щодо енергоефективності теплових насосів, які допомагають знизити споживання енергії та витрати споживачів. Це сприяє зменшенню впливу на зміну клімату та забезпеченню сталого розвитку.

Міжнародні стандарти також включають в себе вимоги щодо безпеки та сертифікації теплових насосів. Вони регулюють аспекти, такі як електрична безпека, захист від перевищення тиску та інші параметри, які впливають на безпеку використання цих пристроїв.

Сертифікація відповідності міжнародним стандартам є важливим кроком у підтвердженні якості та безпеки теплових насосів. Споживачі можуть довіряти сертифікованим продуктам та мати впевненість у їх відповідності встановленим стандартам.

Таблиця 1.2 – Кількість енергії, яка споживається будівлями для їх

опалення та охолодження

Тип будівлі	**Енергоспоживання** (кВт×год/м^2 за рік)	**Законодавчо дозволені у Європі** (роки)
Стара будівля	300	≤ 1970
Нова будівля	150	1970 — 2002
Будова низького споживання енергії	60	2002 — 2019
Пасивний будинок	15	2019 — 2020
Будинок нульового енергоспоживання	0	немає обмежень
Активний будинок	виробляє енергію	немає обмежень

Міжнародні стандарти грають важливу роль у регулюванні та стандартизації теплових насосів. Вони визначають вимоги до якості, безпеки та ефективності цих пристроїв, сприяючи розвитку та інноваціям у цій галузі. Екологічні та енергоефективні вимоги допомагають зменшити вплив на навколишнє середовище та сприяють сталому розвитку. Безпека та сертифікація забезпечують надійність та безпеку використання теплових насосів. Міжнародні стандарти є важливим інструментом для гарантування якості та надійності цих пристроїв на світовому ринку.

1.3 Типи конструкцій

Теплові насоси типу повітря-вода використовуються для вилучення тепла з повітря та передачі його до системи опалення чи постачання гарячої води у приватних будинках [8]. Ці насоси можуть мати різні конструкції, основні з яких включають:

1.3.1Спліт-системи

Спліт-системи теплових насосів — це один з популярних видів конструкцій, в яких компоненти системи розташовані у різних блоках. Основні компоненти спліт-системи включають зовнішній блок та внутрішній блок, і

кожен з них виконує конкретні функції у процесі виробництва тепла.

Зовнішній блок:

- вентилятори розташовані на зовнішньому блоку для взаємодії з повітрям;
- теплообмінник: відбувається обмін тепла з повітрям навколишнього середовища;

Внутрішній блок:

- компресор відповідає за стискання та передачу тепла;
- теплообмінник передає тепло в систему опалення або гарячого водопостачання.

Принцип роботи. Зовнішній блок вбирає тепло з повітря та передає його внутрішньому блоку, де тепло використовується для опалення або нагрівання гарячої води. Процес обертається влітку, коли спліт-система може використовуватися для охолодження повітря в будівлі.

Переваги:

1. Компактність: зовнішній блок може бути встановлений на відстані від будівлі, що робить систему естетично приємною та менше помітною.
2. Зручність обслуговування: внутрішній блок розташований всередині, що полегшує доступ для обслуговування та ремонту.

Недоліки:

1. Необхідність зовнішнього блока: для встановлення потрібно місце для зовнішнього блока.
2. Можливий шум: робота зовнішнього блока може створювати певний шум.

Спліт-системи є популярним та ефективним рішенням для опалення та охолодження, забезпечуючи комфорт у приватних будинках та комерційних об'єктах.

1.3.2 Моноблочні системи

Моноблочні системи є однією з конструкцій теплових насосів, в яких всі основні компоненти розташовані в єдиному блоку. Цей блок зазвичай встановлюється ззовні будівлі та включає всі необхідні елементи для вилучення

тепла з повітря та передачі його в систему опалення чи гарячого водопостачання в будинку. Приклад моноблочної системи представлений додатку А.

Основні компоненти моноблочної системи:

а) вентилятори:

- внутрішні вентилятори забезпечують обіг повітря всередині системи;
- зовнішні вентилятори взаємодіють з повітрям зовні для вилучення тепла.

б) компресор забезпечує стискання і перенос тепла через систему;

в) теплообмінник передає тепло в систему опалення або гарячого водопостачання.

Принцип роботи. Всі основні компоненти системи розташовані в одному блоку, який встановлюється ззовні будівлі. Зовнішні вентилятори взаємодіють із повітрям навколишнього середовища, вилучаючи тепло, яке потім компресор стискає, а теплообмінник передає в систему для опалення чи гарячого водопостачання.

Переваги:

1. Компактність: Одномодульний блок робить систему компактною та менше помітною зовні.
2. Легкість встановлення: Встановлення вимагає менше робочого простору, що полегшує процес монтажу.

Недоліки:

1. Однолокальність: У разі необхідності ремонту або обслуговування, всі процеси відбуваються на одному місці.
2. Обмеженіше розташування: Потребує вільного місця для встановлення ззовні будівлі.

Моноблочні системи є ефективними для опалення та гарячого водопостачання в приватних будинках та невеликих комерційних об'єктах, де важлива компактність та легкість встановлення.

1.3.3 Інтегровані (зливні) системи

Інтегровані системи представляють собою конструкцію теплових насосів, в якій всі необхідні компоненти розташовані в єдиному блоку. Цей блок зазвичай встановлюється ззовні будівлі і містить всі елементи для вилучення тепла з повітря та передачі його в систему опалення чи гарячого водопостачання.

Основні компоненти інтегрованої системи.

а) вентилятори:

- внутрішні вентилятори забезпечують обіг повітря всередині системи;

- зовнішні вентилятори взаємодіють з повітрям зовні для вилучення тепла.

б) компресор забезпечує стискання та перенос тепла через систему.

в) теплообмінник передає тепло в систему опалення або гарячого водопостачання.

Принцип роботи. Всі основні компоненти розташовані в одному блоку, який встановлюється ззовні будівлі. Зовнішні вентилятори взаємодіють із повітрям навколишнього середовища, вилучаючи тепло. Компресор стискає тепло, а теплообмінник передає його в систему опалення чи гарячого водопостачання.

Переваги:

1. Компактність та єдність дизайну: Всі компоненти розташовані в єдиному блоку, що полегшує встановлення та надає системі зовнішній вигляд єдності.
2. Менше місця для встановлення: Вимагає менше місця для встановлення ззовні будівлі.

Недоліки:

1. Однолокальність: У разі необхідності ремонту або обслуговування, всі процеси відбуваються на одному місці.
2. Обмеженіше розташування: Вимагає вільного місця для встановлення ззовні будівлі.

Інтегровані системи є ефективним рішенням для опалення та гарячого водопостачання в приватних будинках та можуть виглядати естетично приємно, допомагаючи інтегрувати технологію в архітектурний дизайн будівлі.

1.3.4 Схід-західні (бі-блочні) системи

Схід-західні, або бі-блочні, системи теплових насосів є варіацією конструкції, в якій компоненти розташовані у двох блоках, які розташовані відокремлено один від одного. Зазвичай, ці два блоки підключені трубопроводами, що дозволяє їм функціонувати спільно для забезпечення ефективного опалення та гарячого водопостачання.

Основні компоненти схід-західної системи.

а) вентилятори:

- внутрішні вентилятори забезпечують обіг повітря всередині системи;
- зовнішні вентилятори взаємодіють з повітрям зовні для вилучення тепла.

б) компресор забезпечує стискання та перенос тепла через систему.

в) теплообмінник передає тепло в систему опалення або гарячого водопостачання.

Принцип роботи. Зовнішній блок взаємодіє з повітрям зовні, вилучаючи тепло, яке потім компресор стискає. Теплообмінник передає це тепло в систему опалення чи гарячого водопостачання. Обидва блоки працюють спільно для забезпечення ефективного опалення.

Переваги:

1. Покращена ефективність: Дві частини системи можуть оптимально взаємодіяти для досягнення кращої ефективності.
2. Розташування відокремлено: Дозволяє встановлювати блоки на відстані один від одного, що може бути зручним для розташування.

Недоліки:

1. Складніше встановлення: Вимагає трубопроводів для підключення двох блоків, що може бути більш трудомістким.
2. Більше місця для встановлення: Потребує більше місця для розташування двох блоків.

Схід-західні системи можуть бути вибором для тих випадків, де важлива максимальна ефективність та оптимальне використання простору.

1.4 Вибір теплового насосу

Вибір теплового насосу типу «повітря-вода» є одним з ключових аспектів при створенні комплексної системи енергозабезпечення приватного будинку. Тепловий насос цього типу базується на використанні повітря як джерела тепла та води для опалення та гарячого водопостачання. Вибір відповідного теплового насосу визначатиме ефективність системи, вартість експлуатації та екологічну придатність. У цьому розділі будуть розглянуті основні критерії та рекомендації для вибору теплового насосу типу «повітря-вода» для приватного будинку.

Критерії вибору теплового насосу типу «повітря-вода».

- Потужність та ефективність. Розрахунок теплових втрат будинку як основа для визначення необхідної потужності теплового насосу. Оцінка коефіцієнта продуктивності (COP) різних моделей на реальних умовах експлуатації.
- Температурні параметри.
- Врахування кліматичних особливостей регіону та перевірка адаптації теплового насосу до холодних умов.
- Перевірка здатності насосу забезпечити необхідні температурні режими для гарячого водопостачання та опалення.

Система опалення та гарячого водопостачання. Аналіз можливостей інтеграції теплового насосу з існуючою системою опалення та гарячого водопостачання. Дослідження функцій, спрямованих на підтримку різних температурних режимів системи.

Робочий режим та кліматичні умови. Аналіз робочого режиму теплового насосу в різних сценаріях (опалення, охолодження). Вивчення можливостей насосу для ефективної роботи в екстремальних температурних умовах.

Вартість та фінансові вигоди. Порівняльний аналіз загальних витрат на встановлення та експлуатацію різних моделей теплових насосів. Розгляд можливостей фінансування, враховуючи податкові кредити та інші фінансові

стимули.

Можливості зворотного охолодження. Вивчення можливостей теплового насосу для зворотного охолодження та їх значення в літній період.

Марка та виробник. Відданість вибору виробника на основі його репутації та довіри на ринку. Перегляд відгуків користувачів та рейтингів продукції виробника.

Обслуговування та гарантія. Перевірка видів обслуговування, які надає виробник, та умов гарантії на обладнання. Оцінка доступності та якості сервісних служб.

Висновок до розділу 1

Тепловий насос є ключовою технологією для комплексних систем енергозабезпечення приватних будинків. Впровадження теплових насосів на основі ґрунт-вода визнається надзвичайно важливим для підвищення енергоефективності та сталості роботи будівель та зменшення впливу на довкілля.

У цьому розділі були розглянуті ключові аспекти використання теплових насосів у приватних будинках, включаючи історію створення та міжнародні стандарти. Було детально розглянуто критерії вибору теплового насосу типу ґрунт-вода та конструкційні особливості різних типів теплових насосів. Також, системи автоматичного регулювання та попередження про стан обладнання розглядаються як критичні компоненти для забезпечення надійності та безперебійної роботи системи [5].

В цілому, використання теплових насосів у комплексних системах енергозабезпечення приватних будинків може сприяти забезпеченню сталого розвитку, зменшенню викидів парникових газів та підвищенню комфорту для мешканців. Додаткові дослідження та практичне впровадження цих систем можуть сприяти подальшому розвитку сучасних енергоефективних будівельних рішень.

2 РОЗДІЛ. ВИБІР ОБЛАДНАННЯ ТА РОЗРАХУНОК ТЕПЛОВОГО НАСОСУ І СИСТЕМИ ГАРЯЧОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ

2.1 Розташування та опис об’єкта

В даній магістерський дисертації об’єкт дослідження розташований в місті Харкові і представлений на рис Б.1.

Географічні координати ділянки: 50.003075678991976, 36.28478369329487. Висота над рівнем моря 160 м. Територія має рівний рельєф без значущих перепадів висот. Відзначимо, що невелика річка проходить на відстані 30 м від східної частини ділянки.

В табл. 2.1 приведені основні конструктивні характеристики об’єкту.

Таблиця 2.1 – Основні конструктивні характеристики об’єкту

Загальна площа будинку	134 м^2
Загальна площа терас та балконів	25,4 м^2
Опалювальна площа будинку	92,6 м^2
Кількість поверхів	1
Повна площа теплообміну зовнішніх стін дому	90,4 м^2
Тип даху	чотирьохскатний дах
Кут нахилу даху	40^o

2.2 Вихідні дані

Кліматологічні дані для м. Харкова:

- опалювальний період складає є $n_{оп}$ = 179 діб ;
- середня температура п’яти найхолодніших днів $t_{зовн}$ = - 23 °С.

Повна площа теплообміну зовнішніх стін дому F = 90,4 м^2.

Температура внутрішнього повітря $t_{ВН}$ = 20 °С. Товщина зовнішньої стіни (цегла керамічна, пінополістирол, цегла червона та дерево з глиною) σ = 0,62 м.

Товщина внутрішньої стіни (мінеральна вата та гіпсокартон) σ_2 = 0,05 м.

Теплопровідність матеріалу зовнішніх стін наведено у ДСТУ Б В.2.6-189:2013, Додаток А, табл. А.1 λ_1 = 1,225 Вт/(м^{2}К).

Теплопровідність матеріалу внутрішніх стін, наведено у ДСТУ Б В.2.6-189:2013, Додаток А, табл. А.1 λ_2 = 0,042 Вт/(м^{2}К).

Коефіцієнт тепловіддачі на внутрішній поверхні охолоджуючої конструкції $\alpha_{ВН}$ = 2 Вт/(м^{2}К).

Коефіцієнт теплопередачі від зовнішньої поверхні стіни до навколишнього повітря $\alpha_{ЗОВН}$ = 12 Вт/(м^{2}К).

Коефіцієнт теплопередачі через вікна $К_{вік}$ = 0,42 (м^{2}К)/Вт.

Коефіцієнт теплопередачі через зовнішні двері $К_{дв.зовн}$= 1,9 (м^{2}К)/Вт.

Висота об’єкту дослідження Н = 3 м.

Кількість людей, які мешкають в будинку n = 3.

Повна площа теплообміну зовнішньої поверхні стелі на горище дому $S_{стелі}$ = 91,56 м^2.

Коефіцієнт тепловіддачі від зовнішньої поверхні стелі на горище, наведено у ДСТУ Б В.2.6-189:2013, Додаток Б α_1 = 7,1 Вт/(м^{2}К).

Коефіцієнт тепловіддачі від внутрішньої поверхні стелі до приміщення, наведено у ДСТУ Б В.2.6-189:2013, Додаток Б α_2 = 4,2 Вт/(м^{2}К).

Товщина 1 шару стелі (пінополістирол) δ_1 = 0,2 м.

Теплопровідність матеріалу 1 шару стелі λ_1 = 0,06 Вт/(м^{2}К).

Товщина 2 шару стелі (бетолайт) δ_2 = 0,15 м.

Теплопровідність матеріалу 2 шару стелі λ_2 = 0,04 Вт/(м^{2}К).

Товщина 3 шару стелі (стяжки з цементно-піщаного розчину) δ_3 = 0,06м.

Теплопровідність матеріалу 3 шари стелі λ_3 = 0,8 Вт/(м^{2}К).

Товщина 4 шару стелі (2 шара руберoїда) δ_4 = 0,015 м.

Теплопровідність матеріалу 4 шару стелі λ_4 = 0,17 Вт/(м^{2}К).

Повна площа теплообміну підлоги будинку $S_{ПІДЛОГА}$ = 91,56 м^2

Коефіцієнт тепловіддачі від зовнішньої поверхні підлоги у холодний підвал наведено у ДСТУ Б В.2.6-189:2013, Додаток Б α_1 = 7,1 Вт/(м^{2}К).

Коефіцієнт тепловіддачі від внутрішньої поверхні підлоги приміщення наведено у ДСТУ Б В.2.6-189:2013, Додаток Б α_2 = 4,2 Вт/(м^{2}К).

Повна площа теплообміну вікон будинку $S_{ВІКОН}$ = 10 м^2.

Опір теплопередачі прозорих елементів вікна розміром $R_{П1}$= 0,22 (м^{2}К)\Вт.

2.3 Втрати тепла через огороджувальні конструкції

Втрати тепла через зовнішні стіни будинку включають основні та додаткові, які розраховуються для кожного елемента оболонки за наступними рівняннями:

$$\boldsymbol{Q}_{\text{ОГ.І}} = \left(\frac{\mathbf{1}}{\boldsymbol{r_i}}\right) \boldsymbol{F_i \Delta t_i \cdot 10^{-3}}, \tag{2.1}$$

де F_i – поверхня елемента огороджувальної конструкції, що передає стін теплоту, м^2; Δt_i - різниця температур повітря у приміщенні та ззовні, ^{o}С.

Термічний опір теплопередачі:

$$\boldsymbol{r} = \frac{\mathbf{1}}{\boldsymbol{\alpha}_{\text{ВН}}} + \sum \frac{\boldsymbol{\delta_i}}{\boldsymbol{\lambda_i}} + \frac{\mathbf{1}}{\boldsymbol{\alpha}_{\text{ЗОВН}}}, \tag{2.2}$$

де $\alpha_{ВН}$ = 2 та $\alpha_{ЗОВН}$ = 12 Вт/(м^2·К) – коефіцієнти тепловіддачі для повітря у будинку та ззовні; δ_i та λ_i – товщина (м) та теплопровідність (Вт/(м·К)) матеріалів окремих шарів огороджень.

Різниця температур Δt_i визначається відповідно до наступних рекомендованих значень в залежності від житлового приміщення H_n =3 м.

Якщо висота приміщення $H_n \leq 4$ м (наприклад, житлової будівлі), то величина:

$$\Delta t = t_{вн} - t_{зовн}, \quad (2.3)$$

де $t_{ВН}$ - $t_{ЗОВН}$ - температури внутрішнього та зовнішнього повітря відповідно.

Зовнішні поверхні стін - F_i визначаються за зовнішніми розмірами, поверхні вікон – за розмірами вставного скла, поверхні підлого – за внутрішніми розмірами.

2.4 Визначення коефіцієнтів теплопередачі огороджувальних конструкцій

Теплофізичні властивості зовнішніх стін наведено у табл. 2.2 [12].

Хоча площа стін велика, втрати через стіни незначні завдяки високому рівню ізоляції. Будинок побудований з червоної цегли з додаванням мінеральної вати і пінополістиролу, які є високоефективними ізоляторами.

Таблиця 2.2 – Теплофізичні характеристики будівельних матеріалів для стін будинку

Найменування матеріалу	**Розрахункові характеристики**	
	λ, Вт/(м·К)	δ, м
Облицьовувальна керамічна цегла	0,62	0,12
Пінополістирол	0,035	0,1
Червона цегла	0,42	0,25
Дерево з глиною	0,15	0,15
Мінеральна вата	0,032	0,05
Гіпсокартон	0,18	0,02

Термічний опір зовнішньої частини огороджувальної конструкції розраховується за формулою (2.2) і він дорівнює:

$$r_{ст} = \frac{0,12}{0,62} + \frac{0,1}{0,035} + \frac{0,25}{0,42} + \frac{0,15}{0,15} + \frac{0,05}{0,032} + \frac{0,02}{0,18} = 4,65 \text{ м}^2/\text{Вт}.$$

Коефіцієнт теплопередачі для стін рівняється:

$$К_{ст} = \frac{1}{r_{ст}} = \frac{1}{4,65} = 0,22 \ \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}.$$

Теплофізичні характеристики конструкції покрівлі наведено у табл. 2.3.

Таблиця 2.3 – Теплофізичні характеристики конструкції покрівлі

Найменування матеріалу	**Розрахункові характеристики**	
	λ, Вт/(м·К)	δ, м
Шар пінополістиролу	0,06	0,2
Стяжки з цементно-піщаного розчину	0,8	0,06
2 шари руберойда	0,17	0,015

Термічний опір покрівлі розраховується за формулою (2.2) і він дорівнює:

$$r_{\text{покрів}} = \frac{0,2}{0,06} + \frac{0,06}{0,8} + \frac{0,015}{0,17} = 3,46 \text{ м}^2/\text{Вт}.$$

Коефіцієнт теплопередачі для покрівлі обчислюється:

$$К_{\text{покрів}} = \frac{1}{r_{\text{покрів}}} = \frac{1}{3,46} = 0,29 \ \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}.$$

Таблиця 2.4 – Теплофізичні характеристики конструкції підлоги

Найменування матеріалу	**Розрахункові характеристики**	
	λ, Вт/(м·К)	δ, м
Блоки кремнезитоцементні	0,08	0,5
Стяжки з цементно-піщаного розчину	0,8	0,07

Коефіцієнт тепловіддачі від зовнішньої поверхні підлоги у холодний підвал, наведено у ДСТУ Б В.2.6-189:2013, Додаток Б α=6 $\frac{\text{м}^2\cdot\text{К}}{\text{Вт}}$.

розмірами.

2.5 Визначення площ огороджувальних конструкцій

Загальна площа вікон $F_{вік}$ = 10 м^2.

Загальна площа дверей $F_Д$ = 3,6 м^2.

Загальна площа стін дорівнює $F_{вік}$ = 90,4 м^2.

2.6 Визначення втрат теплоти через огороджувальні конструкції

Втрати тепла через вікна:

$$Q_{\text{вік}} = \text{К}_{\text{вік}} \cdot F_{\text{вік}} \cdot \Delta t \cdot 10^{-3}, \quad (2.4)$$

$$Q_{\text{вік}} = 0{,}06 \cdot 10 \cdot 43 \cdot 10^{-3} = 0{,}026 \text{ кВт}.$$

Втрати теплоти через зовнішні двері:

$$Q_{\text{дв}} = \left(\text{К}_{\text{дв.зовн}} \cdot F_{\text{дв}}\right) \cdot \Delta t \cdot 10^{-3}, \quad (2.5)$$

$$Q_{\text{дв}} = 1{,}9 \cdot 3{,}6 \cdot 43 \cdot 10^{-3} = 0{,}29 \text{ кВт}.$$

Втрати теплоти через підлогу:

$$Q_{\text{підл}} = \frac{F_{\text{підл}} \cdot (t_{\text{вн}} - t_{\text{зовн}})}{\frac{1}{\alpha_{\text{підл}}} + \frac{1}{\alpha_2} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2}}, \quad (2.6)$$

$$Q_{\text{підл}} = \frac{92{,}56 \cdot (20 - (-23))}{\frac{1}{6} + \frac{1}{4{,}2} + \frac{0{,}5}{0{,}08} + \frac{0{,}07}{0{,}8}} = 5{,}9 \text{ кВт}.$$

Втрати теплоти через зовнішні стіни:

$$Q_{\text{ст}} = \frac{F_{\text{стін}} \cdot (t_{\text{вн}} - t_{\text{зовн}})}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{\delta_4}{\lambda_4}}, \quad (2.7)$$

$$Q_{\text{ст}} = \frac{90{,}4 \cdot 43}{\frac{0{,}12}{0{,}62} + \frac{0{,}1}{0{,}035} + \frac{0{,}25}{0{,}42} + \frac{0{,}15}{0{,}15} + \frac{0{,}05}{0{,}032} + \frac{0{,}02}{0{,}18}} = 7{,}82 \text{ кВт}.$$

Втрати тепла через перекриття, що веде на дах:

$$Q_{\text{гор}} = \text{К}_{\text{гор}} \cdot F_{\text{дв}} \cdot \Delta t \cdot 10^{-3}, \quad (2.8)$$

$$Q_{\text{гор}} = 0{,}29 \cdot 92{,}4 \cdot 43 \cdot 10^{-3} = 1{,}15 \text{ кВт}.$$

Загальні втрати теплоти будинку через огороджувальні конструкції:

$$Q_{\text{ог}} = Q_{\text{вік}} + Q_{\text{дв}} + Q_{\text{підл}} + Q_{\text{ст}} + Q_{\text{гор}} \quad (2.9)$$

$$Q_{\text{ог}} = 0{,}026 + 0{,}29 + 5{,}9 + 7{,}82 + 1{,}15 = 15{,}19 \text{ кВт}.$$

2.7 Витрати теплоти на нагрівання інфільтраційного повітря

Як правило, холодне повітря потрапляє в будівлю через нещільності в конструкції освітлювальних приладів і дверей, негерметичні стики стін і отвори в огороджувальних конструкціях. Енергетичний аудит будівлі виявляє ці місця

тепловтрат за допомогою приладів та органолептичного методу. За допомогою вимірювального приладу (анемометра) вимірюються розміри виявлених зазорів (нещільностей) і отворів, а також швидкість повітря, що просочується крізь них [1].

У практичних розрахунках, виконаних під час цих досліджень, забір повітря через неушкоджену (без явних тріщин) конструкцію стін досліджуваної будівлі не рекомендується через її високий опір повітропроникненню [4].

Витрати теплоти на нагрівання інфільтраційного повітря $Q_{ІНФ}$, Вт, для кожного опалювального приміщення з одним або декількома вікнами або балконними дверима в зовнішній стіні, виходячи з необхідності забезпечення підігріву зовнішнього повітря системою опалення, розраховується з розрахунку одного повітрообміну на годину за формулою:

$$Q_{\text{інф}} = \left(\frac{1}{3600}\right) \cdot c_{\text{пов}} \cdot \rho_{\text{пов}} \cdot F_{\text{п}} \cdot h \cdot (t_{\text{вн}} - t_{\text{зов}}) \cdot k, \qquad (2.10)$$

де $c_{пов}$ – питома масова теплоємність повітря, Дж/(кг·К), ми приймаємо 1005Дж/(кг·К); $\rho_{пов}$ – густина повітря, кг/м^3, приймаємо 1,2 кг/м^3; $F_п$ – площа підлоги приміщення, м^2; h – висота приміщення від підлоги до стелі, м, приймаємо не більше 3,5 м; k – розрахункова кратність повітрообміну: для кімнат – 0,3; для кухонь та санвузлів – 1,0.

Висота житлового приміщення в будинку h = 3 м.

Площа кімнат становить $F_п$ = 58,71 м^2. Площа кухні та санвузла становить $F_{п.кух}$ = 23,76 м^2. Площі усіх приміщень обрано за допомогою плану будинку.

За формулою (2.10) витрати теплоти на нагрівання інфільтраційного повітря складають:

для кімнат:

$$Q_{\text{інф.кім}} = \left(\frac{1}{3600}\right) \cdot 1005 \cdot 1{,}2 \cdot 58{,}71 \cdot 2{,}8 \cdot \big(20 - (-23)\big) \cdot 0{,}3 = 0{,}7 \text{ кВт}.$$

для кухні та санвузлів:

$$Q_{\text{інф.кух}} = \left(\frac{1}{3600}\right) \cdot 1005 \cdot 1{,}2 \cdot 58{,}71 \cdot 2{,}8 \cdot \left(20 - (-23)\right) \cdot 1 = 1 \text{ кВт}.$$

Загальні витрати теплоти на нагрівання інфільтраційного повітря:

$$Q_{\text{інф}} = Q_{\text{інф.кім}} + Q_{\text{інф.кух}}, \tag{2.11}$$

$$Q_{\text{інф}} = 0{,}7 + 1 = 1{,}7 \text{ кВт}.$$

Розрахунки тепловтрат для нагрівання повітря, що проникає через реалістичні щілини, можуть бути безглуздими з сучасними герметичними вікнами та дверима. Як наслідок, об'єм інфільтраційного повітря може бути занадто малим, щоб відповідати гігієнічним нормам повітрообміну. У таких випадках сучасні виробники пластикових вікон випускають спеціальні клапани для збільшення об'єму інфільтрації. Це означає, що вікно примусово відкривається, тим самим збільшуючи швидкість інфільтрації до комфортних умов. Тому для досягнення комфортних умов в конкретному типі приміщення, в залежності від кількості людей в кімнаті і типу розміщення, буде правильним використовувати формулу, виведену з відгуків [12].

$$Q_{\text{втр}} = Q_{\text{ог}} + Q_{\text{інф}}, \tag{2.12}$$

$$Q_{\text{втр}} = 15{,}17 + 1{,}7 = 16{,}87 \text{ кВт}.$$

Приведені теплові втрати:

$$Q_{\text{прив}} = \frac{Q_{\text{втр}}}{F_{\text{буд}}}, \tag{2.13}$$

$$Q_{\text{прив}} = \frac{16{,}87}{134} = 12{,}6 \text{ Вт на м}^2.$$

2.8 Середньорічне та річна споживання теплової енергії на опалення

Середньорічне споживання теплоти на опалення розраховується за формулою:

$$Q_{\text{о}}^{\text{ср}} = Q \cdot \frac{t_{\text{вн}} - t_{\text{ср.о}}}{t_{\text{вн}} - t_{\text{зовн}}}, \quad (2.14)$$

де $t_{ср.о}$ – середня температура зовнішнього повітря за період опалення встановлений у даній місцині. Для Харкова $t_{ср.о}$ = - 5,3 °С.

$$Q_{\text{о}}^{\text{ср}} = 167{,}7 \cdot \frac{20-(-5{,}3)}{20-(-23)} = 9{,}9 \text{ кВт}.$$

Річне споживання теплової енергі на опалення, кВт·год/рік:

$$Q_{\text{о}}^{\text{річ}} = Q_{\text{о}}^{\text{ср}} \cdot n_{\text{оп}} \cdot 24, \quad (2.15)$$

де $n_{оп}$ – тривалість опалювального періоду, діб; $Q_{\text{о}}^{\text{ср}}$ – середня витрата теплоти на опалення, кВт.

$$Q_{\text{о}}^{\text{річ}} = 9{,}9 \cdot 179 \cdot 24 = 42530 \text{ кВт год на рік}.$$

2.9 Витрати теплоти на гаряче водопостачання

Середнє споживання гарячої води (ГВП) за опалювальний період розраховуються за формулою:

$$Q_{\text{гвп}}^{\text{ср}} = \text{К}_{\text{т.п}} \cdot \text{М}_{\text{гв}} \cdot \text{с}_{\text{в}} \cdot (t_{\text{гв}} - t_{\text{х.з}}), \quad (2.16)$$

де $K_{T.П}$ – коефіцієнт, що враховує втрати теплоти від трубопроводів т.п, $K_{T.П}$ = 1,2; c_B – теплоємність води, c_B = 4187 Дж/(кг·К); $t_{ГВ}$ – температура гарячої води у користувача, $t_{ГВ}$ = 55°С; $t_{х.з}$ – температура холодної води в опалювальний період, $t_{х.з}$ = 5°С.

Витрати гарячої води на кількість людей, що мешкає у будинку, визначається за формулою:

$$\text{М}_{\text{гв}} = \frac{m \cdot a}{24}, \quad (2.17)$$

де m – кількість людей,; a– нормалізована кількість води на людину за добу, a = 90 кг/добу [6].

$$\text{М}_{\text{гв}} = \frac{3 \cdot 90}{24} = 11{,}25 \text{ кг на год} = 3{,}1 \text{ кг на сек} \cdot 10^{-3}.$$

За формулою (2.16) розрахуємо середні витрати теплоти на ГВП за опалювальний період:

$$Q_{\text{гвп}}^{\text{ср}} = 1{,}2 \cdot 3{,}1 \cdot 10^{-3} \cdot 4187 \cdot (55 - 5) = 778{,}78 \text{ Вт} = 0{,}77 \text{ кВт}.$$

Максимальні витрати теплової енергії на ГВП житлового будинку за певний опалювальний період складає:

$$Q_{\text{гвп}}^{\text{макс}} = (2 \ldots 2{,}4) \cdot Q_{\text{гвп}}^{\text{ср}} = 2 \cdot 0{,}77 = 1{,}54 \text{ кВт}.$$

Розрахункове теплове навантаження системи опалення та витрати тепла на

підігрів води наведені нижче у табл. 2.5.

Таблиця 2.5 – Витрати теплоти на систему опалення та ГВП

Вид навантаження	Позначення	Величина, кВт
Витрати теплота на опалення	Q_o	9,9
Витрати теплоти на вентиляцію	Q_B	відсутні
Витрати теплоти на ГВП	$Q_{\text{гвп}}^{\text{макс}}$	1,54

2.10 Вибір теплового насоса

Загальне теплове навантаження на опалення та приготування гарячої води є наступним ΣQ = 28,31 кВт .

Для того, щоб врахувати періоди відключень, заплановані регіональним постачальником електроенергії, застосовується розрахунковий коефіцієнт, який збільшує потужність приблизно на 10%. У цьому випадку загальна потужність генерації, необхідна для теплового насосу, буде наступною.:

$$Q_{\text{тн}} = 1{,}1 \cdot \sum Q = 1{,}1 \cdot 28{,}31 = 31{,}14 \text{ кВт} \qquad (2.18)$$

У цьому випадку, було обрано: «Повітряний тепловий насос Sunrain BLN-031TC1 EVI» у кількості 1 комплекту, представлений на рис. Б.2. Так як саме цей ТН забезпечить максимальне постачання теплової енергії від відновлювального джерела до користувача.

Обладнання відповідає вимогам:

- ДБН А.3.2-2-2009. «Шум. Загальні вимоги безпеки»;
- ДСТУ ГОСТ 12.1.012:2008. «Системи стандартів безпеки праці. Вібраційна безпека. Загальні вимоги»;
- Згідно з ДСТУ EN255-3:2005, параметри ТН відповідають усім вимогам, як представленні у технічній документації виробника.

До основних переваг теплового насоса Sunrain BLN-031TC1 EVI можна віднести:

- простота інтеграції в існуючу систему опалення;
- можливість роботи на опалення і гаряче водопостачання;
- зовнішній контур - фреоновий, внутрішній – водяний;
- завдяки кільком фреоновим контурам можливість регулювати теплову продуктивність;
- шумоізоляція корпусу;
- компресор нового покоління забезпечить високу продуктивність та економію.

2.11 Розрахунок системи ГВП

У цьому проекті для підігріву гарячої води встановлено повітряний тепловий насос. Чим менша різниця температур між температурою джерела тепла і температурою в системі опалення, тим вища ефективність теплового насоса. Тому для нагріву води в системі ГВП необхідно підтримувати якомога нижчу температуру в подавальному трубопроводі за рахунок збільшення площі поверхні теплообмінника [1].

2.11.1 Розрахунок накопичувального баку

Основне призначення накопичувальних водонагрівачів - готувати та зберігати достатню кількість гарячої води для задоволення потреб мешканців будівлі в періоди пікового водоспоживання. Тому при розрахунку необхідного об'єму слід враховувати потреби мешканців будівлі. Основними параметрами, що використовуються при виборі водонагрівачів, є їхній об'єм і потужність теплообмінника (у випадку бойлерів непрямого нагріву). Однак зазвичай розраховується лише об'єм бойлера, оскільки виробники прив'язують потужність теплообмінника до його об'єму.

Для початку необхідно розрахувати використання води на кожну точку водозабору протягом максимального періоду використання. Максимальні часові періоди водозабору - це ранок і вечір. Між цими годинами є достатньо часу для того, щоб котел міг повністю нагріти воду [7].

Температура нагріву гарячої води в бойлері становить 60 °С, температура гарячої води, яку споживають мешканці - 40 °С, а температура холодної води - 10 °С.

Приймається середня витрата води для душу. V = 8 л/хв [4]. У середньому мешканці будинку приймають душ τ = 20 хв. Всього в будинку проживає n = 3 особи. Тоді об’єм води буде складати:

$$V_{\text{душ}} = V_{\text{ср.душ}} \cdot \tau \cdot n = 8 \cdot 20 \cdot 3 = 480 \text{ л} \quad (2.19)$$

Приймаємо середню витрату води на миття посуду $V_{\text{ср.пос}}$ = 5 л/хв [14].

Час для миття приймаємо τ = 10 хв. Тоді об’єм води буде складати:

$$V_{\text{пос}} = V_{\text{ср.пос}} \cdot \tau = 5 \cdot 10 = 50 \text{ л} \quad (2.20)$$

Загальний об’єм використаної теплої води з температурою 40°С становить:

$$V_{\text{т.в}} = V_{\text{душ}} + V_{\text{пос}} = 480 + 50 = 530 \text{ л} \quad (2.21)$$

За знайденим об’ємом обираємо накопичувальний бак фірми Drazice NAD, технічні характеристики наведено в табл.2.6.

Таблиця 2.6 – Технічні характеристики Drazice NAD

Продуктивність	
Температура зовнішнього середовища	1…45°С
Температура води	до 90 °С
Обсяг бака	від 500 л до 2000 л
Потужність	Від 9 кВт до 1440 кВт

Висновок до розділу 2

Після проведених розрахунків, представлених у розділі 2. А саме: теплові втрати будинку, що склали 12,6 Вт на м^2; споживання гарячої витратної води – 1,54 кВт та витрати на сезонне опалення будинку - 9,9 кВт. З рис. Б.1 можна побачити, по-перше, домоволодіння розташоване у 30 м від найближчої річки, відповідно до цього є наявність великої кількості ґрунтових вод; по-друге, мала площа самого домоволодіння та розташування на ньому різноманітних об’єктів будівництва перешкоджає встановленню горизонтального ґрунтового теплообмінника. У зв’язку з цим було вирішено встановити тепловий насос, який функціонуватиме у режимі повітря-вода. Виходячи з потреб споживача була спроектована система з теплового насосу фірми Sunrain BLN-031TC1 EVI загальної теплової продуктивністю 31 кВт. Буферна ємність розрахована на 530л.

3 РОЗДІЛ. РОЗРАХУНОК РЕЗЕРВНОГО ДЖЕРЕЛА ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ

3.1 Розрахунок мережевої сонячної електростанції

Задля стовідсоткового забезпечення теплового насосу та накопичувального баку цим проєктом передбачене автономне джерело живлення - СЕС.

У сучасному світі, спостерігається зростання попиту на сталий та відновлюваний джерел енергії, оскільки людство шукає ефективні та екологічно чисті рішення для забезпечення енергетичних потреб. Серед інноваційних технологій, що здобувають популярність, сонячна енергія визначається як одне з перспективних та безперервних джерел виробництва електроенергії.

Цей розділ дипломної роботи присвячений розгляду та розрахункам мережевої сонячної електростанції (СЕС) з врахуванням її використання для живлення теплового насосу, накопичувального баку та резервного акумулятора. Обґрунтовуючи потребу у такій інтегрованій системі, розглядається важливість комплексного використання відновлюваних джерел енергії для забезпечення теплових потреб та накопичення електроенергії.

Перехід до сонячної енергії як основного джерела живлення висуває нові виклики і вимагає ретельних розрахунків та проектування. У цьому контексті робота розглядає велику важливість визначення оптимальних параметрів СЕС, яка забезпечить ефективність та стабільність електропостачання.

Об'єднуючи енергетичні потреби теплового насосу, накопичувального баку та резервного акумулятора, ця робота прагне визначити оптимальні рішення для створення надійної та ефективної системи, що використовує сонячну енергію для забезпечення різних потреб в будинку [13].

Усі електроенергії, яка генерується сонячними батареями, негайно подається через мережевий сонячний інвертор напруги до споживачів. Вироблену потужність визначає інтенсивність сонячного випромінювання. При

взаємодії з електричною мережею енергія, отримана від сонячних панелей, має пріоритет. Це означає, що за умови достатнього освітлення енергія з зовнішньої електромережі не використовується взагалі, і всі надлишки генерованої енергії подаються в загальну електромережу за "зеленим" тарифом. У випадку недостатньої освітленості та, відповідно, зменшення енергії, яку генерує сонячна електростанція, зовнішній мережі береться рівно стільки енергії, скільки не вистачає споживачам.

Значущим стимулюючим фактором стало впровадження механізму стимулювання галузі через "зелений" тариф. Це сприяло підняттю привабливості сонячних електростанцій в Україні на новий рівень. Одними з ключових параметрів для розрахунку генерації сонячної електростанції є альбедо, потік прямого та дифузного випромінювання в обраному регіоні розташування СЕС [17].

Таблиця 3.1 – Альбедо протягом року

Місяць	**Альбедо**
Січень	60
Лютий	47
Березень	26
Квітень	17
Травень	19
Червень	20
Липень	20
Серпень	20
Вересень	21
Жовтень	21
Листопад	35
Грудень	49

Таблиця 3.2 – Потік прямої сонячної радіації у Харківській області за рік

Місяць	**Години**						
	5	**6,3**	**9,3**	**12,3**	**15,3**	**18,3**	**22**
Січень	0	0	0,03	0,07	0,01	0	0
Лютий	0	0	0,07	0,16	0,06	0	0
Березень	0	0,01	0,17	0,27	0,12	0	0
Квітень	0	0,06	0,3	0,38	0,14	0	0
Травень	0	0,14	0,41	0,43	0,24	0,03	0
Червень	0	0,15	0,3	0,52	0,33	0,06	0
Липень	0	0,18	0,53	0,55	0,36	0,07	0
Серпень	0	0,09	0,44	0,45	0,27	0,02	0
Вересень	0	004	0,32	0,37	0,16	0	0
Жовтень	0	0,01	0,16	0,2	0,06	0	0
Листопад	0	0	0,05	0,07	0,03	0	0
Грудень	0	0	0,02	0,05	0	0	0

Таблиця 3.3 – Потік дифузної сонячної радіації у Харківській області за рік

Місяць	**Години**						
	5	**6,3**	**9,3**	**12,3**	**15,3**	**18,3**	**22**
Січень	0	0	0,09	0,17	0,05	0	0
Лютий	0	0	0,15	0,23	0,1	0	0
Березень	0	0,02	0,22	0,28	0,16	0	0
Квітень	0	0,09	0,29	0,36	0,28	0,02	0
Травень	0	0,15	0,34	0,38	0,28	0,07	0
Червень	0	0,17	0,31	0,37	0,28	0,09	0
Липень	0	0,16	0,32	039	0,3	0,09	0
Серпень	0	0,11	0,26	0,34	0,25	0,04	0
Вересень	0	0,06	0,23	0,28	0,17	0	0
Жовтень	0	0,1	0,17	0,21	0,09	0	0
Листопад	0	0	0,1	0,13	0,03	0	0
Грудень	0	0	0,07	0,12	0,02	0	0

Дахова СЕС складається з 24 сонячних модулів потужністю 600 Вт кожний. Загальна панельна потужність 18,38 кВт. Модулі підключені до інвертора двома стрінгами по 12 модулів кожний. Кут нахилу панелей – 40°, азимут - 0°. Рис. В.2 зображає підключення ФЕМ до інвертору.

За допомогою програми PVsyst V7.1.0, проведено аналіз обсягів електроенергії, який генерується масивом фотоелектричних панелей із встановленою потужністю, що розташовані в певному місці з фіксованими географічними координатами. Розраховано кількість сонячної радіації, яка падає на похилу поверхню з кутом нахилу 3 градуси до горизонту. Повна радіація, яка потрапляє на похилу поверхню, обчислюється на основі горизонтальних значень прямої та дифузної радіації у погодинному режимі за допомогою моделі Переза або моделі Хея. Результати дослідження представлені в табл. 3.4.

Таблиця 3.4 – Кількість сонячної радіації, що надходить на похилу поверхню протягом року

Місяць	**GlobInc, кВт*год/м²**	**Температура н/с, °С**
Січень	36	-4,72
Лютий	55,7	-4,03
Березень	95,1	0,83
Квітень	121,6	9,15
Травень	164,9	15,67
Червень	157,8	18,73
Липень	164,3	20,87
Серпень	147,9	20,5
Вересень	96,6	15,11
Жовтень	63,4	8,63
Листопад	32,7	1,1
Грудень	29,2	-3,99
Рік	**1162,2**	**8,22**

Сумарна енергія інсоляції за «характерну добу» місяця - W_{xc} визначається за виразом:

$$W_{xc} = \sum_{i=0}^{n} P_{ixc}, \quad (3.1)$$

де P_{ixc} – інсоляція на і-й годині «характерної доби»; n – година доби (0…23).

Орієнтовний обсяг PV-генерації для кожного місяця року показано в табл. 3.5. E_{Array} – вихідна енергія інвертора без урахування втрат, E_{Grid} – вихідна енергія лічильника ват-годин з урахуванням втрат у кабелях.

Таблиця 3.5 - Розрахунковий виробіток електричної енергії ФЕС

Місяць	**E_{Array},МВт*год**	**E_{Grid}, МВт*год**
Січень	0,455	0,436
Лютий	0,731	0,707
Березень	1,245	1,209
Квітень	1,558	1,516
Травень	2,056	2,004
Червень	1,939	1,889
Липень	1,991	1,939
Серпень	1,812	1,766
Вересень	1,202	1,168
Жовтень	0,794	0,768
Листопад	0,409	0,391
Грудень	0,36	0,343
Рік	**14,552**	**14,137**

3.2 Вибір сонячних модулів

У цій роботі були обрані сонячні модулі фірми 600W MBB Bifacial Mono PERC - JAM78D30 585-600\GB. (рис. В.4). Монокристалічний фотомодуль JA

Solar потужністю 600 Вт за технологією 5BB [18].

Сонячні модулі Mono PERC чудово підходять для використання в автономних і мережевих фотоелектричних системах. Монокристалічні сонячні модулі JA Solar мають один із найкращих показників ефективності в галузі – 21,5%. Похибка потужності позитивна, від +0 до 5 Вт, зафіксована шляхом вивчення кожної фотографії.

Детальні характеристики представлені в Табл. 3.6 [20].

Таблиця 3.6 – Характеристики JAM78D30 585-600\GB

Номінальна потужність	600 Вт (0 ~ + 5%)
Струм короткого замикання Isc	14,03 А
Напруга холостого ходу Voc	53,55 В
Струм максимальної потужності Imp	14,03 А
Напруга максимальної потужності Vmp	33,17 В
Максимальна напруга системи	1500 В DC
Кількість фотоелементів	60 (158,75 × 158,75 мм)
Запобіжник, не більше	20 А
Розміри	1657 × 996 × 35 мм
Вага	18,4 кг
Тип панелі	монокристал
максимальний ККД	21,5 %
температурний коефіцієнт	~ -0.275%/°C

Фотоелектричний модуль складається з шістдесяти елементів, виготовлених з монокристалічного кремнію. Лицьова частина кремнієвих пластин захищена міцним світлопоглинаючим склом. Задня частина панелі виготовлена з полімеру (EVA) і покрита шаром алюмінію. Щоб забезпечити локальний контакт між металевою підкладкою і кремнієм, використовується шар діелектрика і проводиться перфорація. Така технологія відома як PERC

(Passivated Emitter Rear Contact). Кожен фотоелемент обрамляється стійким до корозії алюмінієвим профілем.

3.3 Вибір інвертору

Для цієї магістерської дисертації було обрано мережевий інвертор Fronius SYMO 15.0-3-M (рис. В.5). Ця серія інверторів від австрійської компанії Fronius спеціально розроблена для використання в невеликих і середніх фотоелектричних установках та відрізняється високою інтелектуальністю та комунікативністю.

Інвертори серії SYMO мають унікальний дизайн "СуперФлекс" і два MPP трекери з широким діапазоном вхідної напруги. Це дозволяє їм надавати максимальну гнучкість у конфігурації фотоелектричної системи та робити їх підходящими для частково затінених або різноорієнтованих PV масивів.

Вдосконалений алгоритм стеження за точкою максимальної потужності (технологія DynamicPeakManager) робить цей інвертор одним із найкращих в своєму класі, особливо для використання за "зеленим" тарифом [19].

Мережеві інвертори від "Фроніус" відрізняються швидкою та простою установкою завдяки запатентованій системі монтажу SnapINverter. Їх компактність і легкість роблять їх зручними для розміщення як всередині приміщення, так і надворі. Корпус інверторів є міцним і добре захищеним, що гарантує їхню надійність в різних умовах експлуатації.

Австрійські інвертори "Фроніус" можуть працювати при низьких температурах до -25 градусів Цельсія і витримують високі температури влітку. Основні характеристики інвертора представлені в табл. 3.7.

Таблиця 3.7 – Детальні характеристики Fronius SYMO 15.0-3-M

Вбудований WLAN інтерфейс	Так
Робоча температура	від -25° C до +60° C
Кількість MPP трекерів	2 шт
Розміри	725*510*225 мм
Максимальна потужність фотомодулей	22,5 кВт
Макс. потужність ФЕМ на MPPT1/MPPT2	10 / 5
Мінімальна напруга ФЕМ	200 В
Номінальна напруга ФЕМ	600 В
Максимальна напруга ФЕМ	1000 В

Висновок до розділу 3

Після проведених розрахунків, представлених у розділі 3 був обраний інвертор Fronius SYMO 15.0- 3-M. Та як основне джерело живлення теплового насосу та аккумулюючого баку було обрано 24 сонячні модулі типу JAM78D30 585-600\GB. Модулі будуть розташовані під кутом 40º на даху будинку та нежитлових споруд, загальною потужністю 18,38 кВт. У випадку, коли надане електроживлення стає недостатнім, наприклад, в умовах хмарної погоди, тоді тепловий насос може автоматично перемикатися на отримання електроенергії з електричної мережі. Такий резервний режим дозволить забезпечити необхідний рівень енергії для системи.

Аналогічно, в умовах перевиробітку, наприклад, влітку при високому рівна сонячної активності, електричну енергію можна вигідно продавати за «зеленим» тарифом. Цей підхід дозволяє оптимально використовувати вироблену енергію та забезпечує можливість отримання додаткового доходу в умовах перевищення виробництва. Схему підключення СЕС наведено на рис. В.6.

4 РОЗДІЛ ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Технічні рішення та організаційні заходи з безпеки експлуатації робочих приміщень та основного технологічного обладнання

Перший пункт включає в себе важливі аспекти монтажу та експлуатації теплового пункту з урахуванням відповідних нормативів та стандартів.

1. Монтаж трубопроводів ізоляцією:
   - під час монтажу всі трубопроводи оснащуються ізоляцією;
   - на трубопроводах виконують маркування згідно схеми;
   - на трубопроводах позначається напрямок руху теплоносія.
2. Маркування обладнання:
   - усе обладнання, трубопроводи та арматура маркуються згідно з схемою проекту.
3. Компоновка обладнання:
   - компоновка основного та допоміжного устаткування в приміщенні теплового пункту відповідає нормативам.
4. Монтажна (ремонтна) площадка:
   - проект передбачає наявність монтажної (ремонтної) площадки для зручності обслуговування та ремонту.
5. Оснащення водо-водяних підігрівачів:
   - кожен водо-водяний підігрівач оснащений штуцерами із запірною арматурою для випуску повітря і спуску води.
6. Щит контролю:
   - всі вимірювальні прилади встановлюються на щиті контролю, розташованому у приміщенні теплового пункту.

Всі ці заходи спрямовані на забезпечення безпеки експлуатації та ефективності системи теплового пункту, дотримуючись встановлених норм та вимог.

4.2 Електробезпека

Усі основні планувальні рішення, передбачені проектом теплового пункту, здійснені відповідно до вимог ДБН В.2.5.-39:2008 «Теплові мережі». Важливим аспектом є застосування відповідного обладнання для захисту електроніки теплового насосу від різких перепадів напруги.

Система захисту від перенапруги включає в себе використання спеціалізованих пристроїв та систем, які виявляють та компенсують негативні ефекти перенапруги. Це може включати в себе стабілізатори напруги, розрядні пристрої та інші технології.

Додатково, важливим є те, що всі електромонтажні роботи повинні виконуватися відповідно до будівельних норм – ДБН В.2.5.24-2003 «Електротехнічні прилади. Виробництво електромонтажних робіт» та ПУЕ, з урахуванням норм охорони праці та техніки безпеки.

Також, важливо враховувати, що блок управління насосами має ряд функцій, включаючи автоматичне відключення циркуляційного насосу при падінні тиску, ручне вмикання/вимикання, автоматичне вмикання після перерви в електропостачанні та інші. Контролер блоку управління також забезпечує можливість зв'язку з комп'ютером через інтерфейс RS-232, 485.

Електрообладнання теплового пункту живиться від мережі перемінного струму з глухо заземленою нейтральною частотою 50 Гц.

4.3 Пожежна безпека

Приміщення, згідно з НАПБ Б07.005-86, віднесено до категорії D (пожежобезпечні – негорючі речовини та матеріали у холодному стані). Щодо можливих джерел пожежі, слід враховувати можливість спалення електроізоляції кабелів при короткому замиканні чи неналежному обслуговуванні персоналу. Приміщення не відноситься до вибухонебезпечних, оскільки тут не використовуються легкозаймисті речовини, і не існує умов для

утворення вибухонебезпечних сумішей [14].

Системи пожежної безпеки реалізують комплекс заходів і технічних засобів для запобігання пожеж та зменшення збитків від них. Пожежна безпека об'єкта повинна забезпечуватися системою запобігання пожежі, системою протипожежного захисту і системою організаційно-технічних засобів.

Системи пожежної безпеки повинні гарантувати запобігання пожежі та захист від її небезпечних факторів на необхідному рівні [14]. За допомогою цих систем потрібно забезпечити рівень пожежної безпеки для людей, який не менше 0,9 відвернення впливу для кожної людини та допустимий рівень не більше 10-6 впливу небезпечних факторів пожежі, що перевищують гранично допустимі значення на рік на кожну людину.

Основні засоби попередження пожеж включають в себе використання електрообладнання, що відповідає електростатичній електробезпеці згідно з ГОСТ 12.1.018-79 та застосування захисту від короткого замикання на розподільчому щиті теплового пункту.

Технічні рішення щодо системи протипожежного захисту теплового пункту передбачають використання пристроїв УОТС-11 для пожежної сигналізації, які працюють з димовими та тепловими датчиками, розташованими на стелі. Додатково передбачено первинні засоби пожежогасіння, такі як вогнегасники ОУ-5 згідно з вимогами ДСТУ 36 75-98, ящик із піском, щільна тканина, лопата, розташований біля входу у тепловий пункт. Плавкі вставки запобіжників калібруються і мають визначений номінальний струм на клеймі.

4.4 Охорона праці при встановленні сонячних панелей

Працівники, які встановлюють і/або обслуговують сонячні батареї, часто опиняються на дахах, використовуючи сходи і монтажні підмостки, що може призвести до небезпеки падіння. При збільшенні кількості сонячних батарей на даху доступна зона для робочих може зменшитися, і працівники можуть бути вимушені проходити дуже близько до мансардних вікон та виступів. З метою

захисту працівників від потенційної небезпеки падіння через мансардні вікна, кромки дахів і люки, роботодавці повинні забезпечити захист мансардних вікон або забезпечити працівників, які перебувають поблизу, індивідуальними засобами захисту від падіння.

Будівельники, які виконують установку сонячних батарей і можуть опинитися на висоті 2 метри і більше, повинні бути захищені від падіння. Це може бути здійснено за допомогою систем огородження, систем безпеки або персональних систем захисту від падіння.

Під час перенесення сонячних батарей необхідно використовувати підйомне устаткування, таке як сходові підйомники, маятникові підйомники або автокрани/конвеєри, і уникати підйому по сходах.

Важливо захищати працівників від ураження електричним струмом та пожежі при установці сонячних батарей. Використання електрозахисних засобів та дотримання правил охорони праці є обов'язковим. Також, необхідно враховувати ризик опіків та можливість контакту інструментів і обладнання з лініями електропередач.

Сонячні батареї слід заземлювати відповідно до вимог безпеки, і підключення кабелів повинно відповідати полярності. Дотримання цих правил важливо для запобігання пошкоджень обладнання та забезпечення безпеки під час монтажу сонячних батарей.

4.5 Експлуатація сонячних батарей

Важливою умовою безпечного та ефективного використання сонячної системи є систематичне обслуговування. Регулярне технічне обслуговування сонячних батарей та інших компонентів загальної системи є запорукою їх тривалої та безаварійної роботи. Ці роботи слід проводити 1-2 рази на рік, в залежності від умов експлуатації сонячних батарей, і включати такі етапи:

1. Перевірка цілісності батарей і кріпильних елементів. Проведення огляду для виявлення будь-яких ознак фізичних пошкоджень чи корозії. Кріпильні

елементи повинні бути надійно закріплені.

2. Очищення інверторів від пилу. Регулярна очистка інверторів від пилу, який може накопичуватися на їх поверхні, допомагає уникнути перегріву та підтримує їх ефективну роботу.

3. Перевірка заземлення та ізоляції струмоведучих провідників. Визначення ефективності заземлення та перевірка стану ізоляції струмоведучих елементів для уникнення ризиків короткого замикання.

4. Тестування електропроводки на витоки енергії. Проведення періодичних тестів для виявлення можливих витоків енергії, що можуть виникнути через несправність електропроводки.

5. Очищення поверхні сонячних батарей. Забезпечення чистоти панелей для оптимального поглиблення світла, що веде до збільшення генерації сонячної енергії. Накопичений пил може призвести до втрат в генерації струму до 20%.

Регулярне обслуговування гарантує високий коефіцієнт корисної дії (ККД) будь-якої сонячної електростанції та її ефективну роботу протягом тривалого періоду [18].

5 РОЗДІЛ. РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ

5.1 Мета розробки стартапу

Мета розробки стартапу, спрямованого на використання теплового насосу для опалення та постачання гарячої води у приватний будинок, може бути сформульована так:

Створення та впровадження ефективної системи опалення та гарячого водопостачання для приватних будинків за допомогою теплового насосу, що працює на енергії відновлюваних джерел, з метою забезпечення клієнтів надійним, екологічно чистим та економічно вигідним рішенням для комфортного побуту. Орієнтований термін досягнення цієї мети - 10 років.

Ця частина магістерської роботи має на меті оцінити окупність інвестицій цих технічних рішень з метою висвітлення та популяризації енергоефективних методів будівництва пасивного будинку.

У цьому розділі розглядаються наступні сфери початкової реалізації проєкту:

- Ідея.
- Тарифи на електроенергію та газ.
- Технічні перевірки початкових проєктів.
- Рентабельність інвестицій в пасивні технічні рішення.
- Рентабельність інвестицій в пасивні технічні рішення з урахуванням СЕС.

5.2 Ідея стартап-проєкту

Таблиця 5.1 Описання основної ідеї стартап проєкту

Зміст ідеї стартап-проєкту	**Напрямки застосування**	**Переваги для користувача**
Основний задум даного проєкту полягає у поєднанні теплового насосу з активними сонячними системами.	Застосування для зниження комунальних платежів приватних будинків.	Можливість заощадження отримання прибутку.

В табл. 5.2 представлені основні переваги і недоліки в порівнянні з основним конкурентом компанією SILS.

Таблиця 5.2 – Порівняльні характеристики

№	**Основні техніко-економічні характеристики**	**Мій проєкт**	**Проєкт конкурентів**
1	Доступність	+	-
2	Екологічність	+	+
3	Універсальність для різних типів місцевості	+	-
4	Простота в експлуатації	+	+
5	Автоматизованість	+	-

Для успішного впровадження та розвитку нашого проєкту необхідно ретельно оцінити ключові можливості ринку та попиту. Також, важливо провести аналіз основних загроз ринку, які можуть впливати на ефективність виробництва. Це включає врахування потреб клієнтів, конкурентних пропозицій та загального стану ринку.

У сучасних умовах питання енергоефективності в Україні набуває надзвичайної вагомості. Економіка країни характеризується високим рівнем енергоспоживання порівняно з міжнародними показниками. Споживання первинної енергії у відношенні до внутрішнього валового продукту України перевищує середній світовий показник у 2,5 рази. Умови постійного зростання цін на енергоносії призвели до збільшення попиту серед споживачів на енергоефективні рішення для житла.

Враховуючи законодавчі ініціативи уряду та зміни в усвідомленні населення та підприємств, спостерігається поширення заходів з енергоефективності у будівництві, ремонті та реконструкції будівель. Тому можна зробити висновок, що ринок енергоефективного будівництва лише розпочинає свій розвиток, що відкриває можливості для новаторських рішень і пропозицій, які пропонує мій стартап.

5.3 Тарифи на електроенергію та газ

Національною комісією, що здійснює регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг (НКРЕКП), встановлено "зелений" тариф на електричну енергію, яка генерується з використанням сонячного випромінювання генеруючими установками приватних домогосподарств. Цей тариф застосовується до генеруючих установок з встановленою потужністю, яка не перевищує 30 кВт та які вже введені в експлуатацію.

Такий підхід до тарифікації заохочує розвиток децентралізованих джерел енергії, зокрема сонячної енергії, серед приватних домогосподарств. Це сприяє створенню більш сталої та екологічно чистої енергетичної системи, а також стимулює власників приватних домогосподарств до впровадження енергоефективних рішень та використання відновлюваних джерел енергії.

- з 01 квітня 2013 року по 31 грудня 2014 року – 1183,13 коп/кВт·год (без ПДВ);

- з 01 січня 2015 року по 30 червня 2015 року – 1064,11 коп/кВт·год (без ПДВ);
- з 01 липня 2015 року по 31 грудня 2015 року – 660,85 коп/кВт·год (без ПДВ);
- з 01 січня 2016 року по 31 грудня 2016 року – 627,10 коп/кВт·год (без ПДВ);
- з 01 січня 2017 року по 31 грудня 2019 року – 596,90 коп/кВт·год (без ПДВ);
- з 01 січня 2020 року по 31 грудня 2024 року – 536,50 коп/кВт·год (без ПДВ).

Отже, для нашого домогосподарства зелений тариф складає 536,50 коп/кВт·год (без ПДВ).

Тариф на газ приймаємо згідно даних НКРЕКП – 7,9568 грн/м^3 [20].

5.4 Технологічний аудит стартап-проєкту

Техніко-економічний розрахунок мережевої сонячної електростанції приведений в Табл. 5.3.

Таблиця 5.3 – Техніко-економічний розрахунок мережевої СЕС

Товар	**Модель**	**Кількість**	**Ціна за 1 шт, грн**	**Сума, грн**
1	**2**	**3**	**4**	**5**
Сонячна панель	JAM78D30 585-600\GB	32 шт.	2626	84032
Мережевий інвертор	Fronius SYMO 10.0- 3-M	1 шт.	81766	81766
Кріплення	Система кріплень профілю для монтажу сонячних панелей на дах (оцинкований профіль)	32 шт.	400	12800
Конектор	Набір конекторів MC4	19 шт.	45	855
Кабель соларний	TOP Cable, 4mm	101 м	24,3	2454,3

1	2	3	4	5
Електрофурнітура	ОПН GBL, автомат, Щит ETI, кабель силовий СІП 4*25.5 категорія, інші витрат матеріали	1 комплект	3780	3780
Монтажні та пуско-налагоджувальні роботи	Робота по встановленню та запуску сонячної електростанції "під ключ"	1 шт.	18 900	18 900
			Всього:	**204587,3**

Розрахунок окупності СЕС представлений у Табл. 5.4.

Таблиця 5.4 – Розрахунок окупності мережевої СЕС 18кВт

Економічний показник	**Вартість, грн**
Середньорічний виробіток електроенергії, кВт*год	18386
Власне річне споживання електроенергії, кВт*год	12386
Надлишок електроенергії за рік, кВт*год	6000
Ціна «зеленого тарифу» без ПДВ, коп/кВт·год	536,50
Прибуток від продажу електроенергії за рік, грн	32190
Економія щодо власного споживання на рік (тариф 264 коп/кВт·год)	13687
Вартість електростанції	204 587,3
Термін окупності, років	(204587,3)/(32190+13687) = 4,5 років

Вартість тепловго насосу Sunrain BLN-031TC1 – 406 200 грн.

Розрахуємо вартість опалення будинку без урахування теплового насосу.

Приймаємо, що для підтримання комфортних умов звичайного будинку необхідно в середньому 600 м^3 газу щомісяця.

Та підігрів води в 6 місяців 100 м^3

Опалювальний період 6 місяців.

Отже, кількість газу необхідного для опалення будинку в рік:

$$К_{газу} = 600 \cdot 6 = 3600 \text{ м}^3$$

$$К_{газу} = 100 \cdot 6 = 600 \text{ м}^3$$

В грошовому еквіваленті:

$$8{,}88 \cdot 4200 = 37\,296 \text{ грн/рік}$$

Розрахуємо строк окупності теплового насосу та акумулюючого баку, що представлені в даній магістерській дисертації.

Маємо

$$\text{РР} = \frac{406200 \text{ грн}}{37296 \text{ грн}} \approx 10 \text{ років}$$

Строк окупності для пасивної та активної сонячної систем разом складає:

$$\text{Заг} = \frac{204587{,}3 + 406200}{32190 + 13687 + 37296} = \frac{610787{,}3}{83173} \approx 7{,}34 \text{ років}$$

В результаті можна зробити висновок, що комбінована система з теплового насосу та активних сонячних рішень зменшить термін окупності та підвищить надійність системи теплопостачання.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

В результаті дослідження та розробки комплексної системи енергозабезпечення приватного будинку на основі використання теплових насосів було досягнуто поставленої мети. А саме, визначення складу та оптимальних параметрів комплексної локальної енергосистеми на основі сонячної електростанції та теплонасосної установки для забезпечення опалення та гарячого водопостачання приватного житлового будинку. У роботі проведений розрахунок теплового насосу для забезпечення комфортних умов проживання. З метою повністю покрити електричне навантаження насосу був проведений розрахунок джерела живлення – системи з сонячних модулів..

Досліджено та розглянуто різні аспекти використання теплових насосів для опалення та постачання гарячої води, зокрема їхню технічну можливість, екологічні переваги та економічну доцільність. Розроблена система виявила високий рівень ефективності, сприяючи значній економії електроенергії та забезпечуючи надійне та стабільне енергозабезпечення для будинку.

В роботі був проведений розрахунок комлексу теплового насосу та аккумулюючого баку. Ця система забезпечить 100% теплового постачання в приватний будинок, а отже, забезпечить економію використання газу та окупиться приватному користувачу за 10 років.

Наступним кроком був розрахунок джерела живлення. Джерело теплопостачання буде забезпечено підключеною до мережі фотоелектричною станцією (СЕС) на даху. У випадку надмірної генерації електроенергії, невикористана енергія буде продаватись в електричну мережу за «зеленим» тарифом. Розраховано, що строк окупності даної системи складає 4,5 роки.

На заключному етапі був проведений розрахунок окупності комбінованої системи, і виявлено, що він становить 7 років. Це дозволяє зробити висновок, що поєднання обох систем може значно скоротити термін окупності та забезпечити нульове споживання теплової енергії з мережі. Такий інтегрований підхід до виробництва електроенергії та тепла не лише сприяє економічності, але й сприяє

сталому використанню енергійних ресурсів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Антошків О. Тенденції застосування геотермії у світі та перспективи використання теплового насоса в умовах теплового поля [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу:http://gntb.gov.ua/files/rbp/rbp10.pdf
2. Енергетична стратегія України на період до 2030 року. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://zakon1.rada.gov.ua/signal/kr06145/
3. Безродний М.К. Термодинамічна та енергетична ефективність теплонасосних схем теплопостачання. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://visnyk.vntu.edu.ua/index.php/visnyk/article/view/1079/1078
4. ДСТУ Б В.2.5-44:2010 Інженерне обладнання будинків і споруд. Проектування систем опалення будівель з тепловими насосами (EN 154550:2007, MOD) [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=25972.
5. Писарєв В. Є. Теплові насоси та холодильні установки. Навчальний посібник. К: КНУБА. 2002. 124 с.
6. Безродний М.К. Теплові насоси та їх використання. [Текст]: посіб. / М.К. Безродний, І.І. Пуховий, Д.С. Кутра. – К.: НТУУ «КПІ», 2013. – 289 с.
7. Білодід В. Д. Оцінка обсягів виробництва та споживання теплової енергії в Україні з використанням електроенергії теплонасосними системами /В. Д. Білодід // Проблеми загальної енергетики. – 2011. - № 4. – С.5-12.Безродний М.К. Теплові насоси та їх використання/М.К. Безродний.
8. Боженко М.Ф. Джерела теплопостачання та споживачі теплоти: Навч. посіб. / М.Ф.Боженко, В.П.Сало. – Київ: ІВЦ Вид-во «Політехніка», 2004. – 192 с.
9. Клімат і рельєф Харківської області [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://ukrssr.com.ua/khark/klimat-i-relyef-harkivskoyi.
10. Архів погоди [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://world- weather.ru/archive/ukraine/nemeshayevo/.
11. ДБН В.2.6-31:2006 Конструкції будинків і споруд. Теплова ізоляція будівель. Зміна № 1 [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу:

https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=52805/.

12. Башинська Ю.І. Організаційно-економічні засади використання потенціалу відновлювальної енергетики в регіоні [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://chtyvo.org.ua/authors/Bashynska_Yuliia/Orhanizatsiino-ekonomichni_zasady_vykorystannia_potentsialu_vidnovliuvanoi_enerhetyky_v_rehioni/ .

13. Пожежна безпека в заміському будинку [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://evrodim.com/publications/inzhenernye-sistemy/pozhezhna-bezpeka-v- zamiskomu-budinku.

14. M. Hoeschele. Multifamily Heat Pump Water Heater Evaluation. / [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://www.nrel.gov/docs/fy17osti/66430.pdf

15. Steven Winter Associates, Inc. Heat pump retrofit strategies for multifamily buildings. / [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://www.nrdc.org/sites/default/files/heat-pump-retrofit-strategies-report-05082019.pdf

16. Керамічна електронагрівальна панель RZTK PNL 1542E [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://bt.rozetka.com.ua/ua/rztk_pnl_1542e/p250698406/.

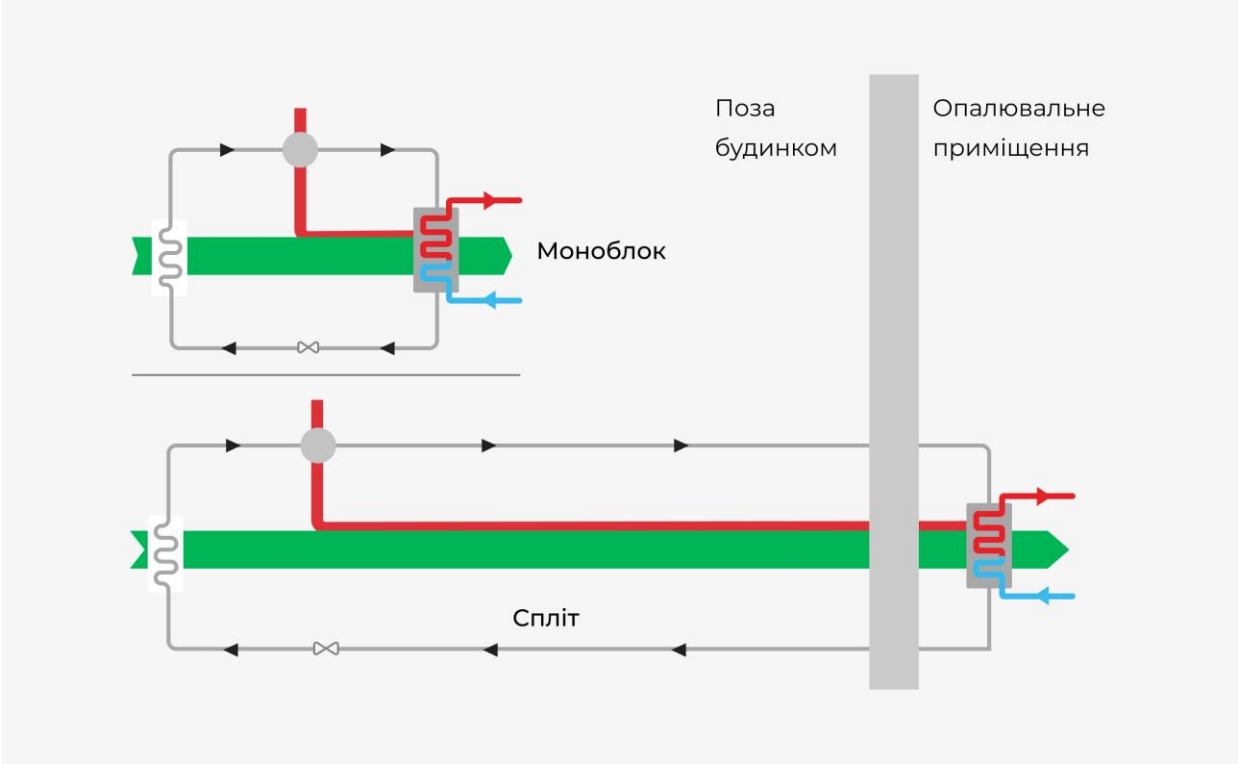
17. Сонячні панелі JA Solar [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://eco-tech.com.ua/ua/p959778927-solnechnye-paneli-solar.html?utm_medium=cpc&utm_source=adsgoogle&utm_campaign=dsa&utm_content=_b_c_&gclid=Cj0KCQiA5vb-BRCRARIsAJBKc6JpnWRLuOKq-HS1x0T_Lx4btm1Y27MoPwxHOYwIuvZLEpjdxWnfBnUaAlEVEALw_wcB.

18. Fronius SYMO [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: http://atmosfera.ks.ua/solar-fotoelectric-system/invertor/setevoy-invertor-fronius-symo-10-0-3-m.html.

19. НКРЕКП [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://www.nerc.gov.ua/.

ДОДАТОК А

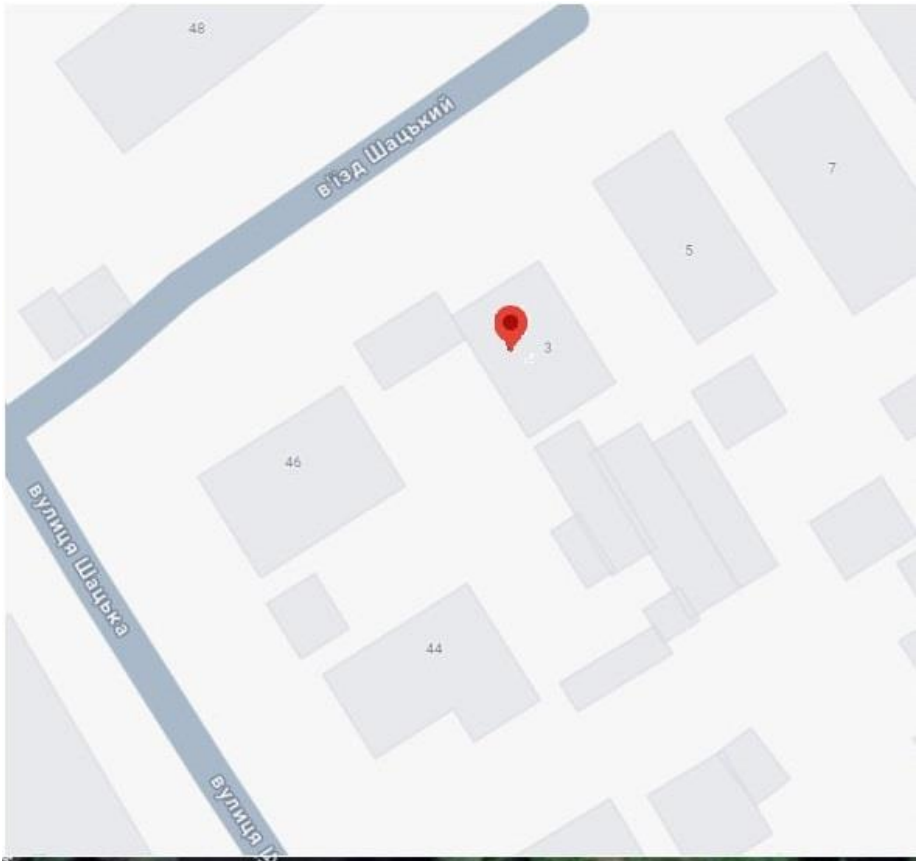
Спліт-система та Моноблок

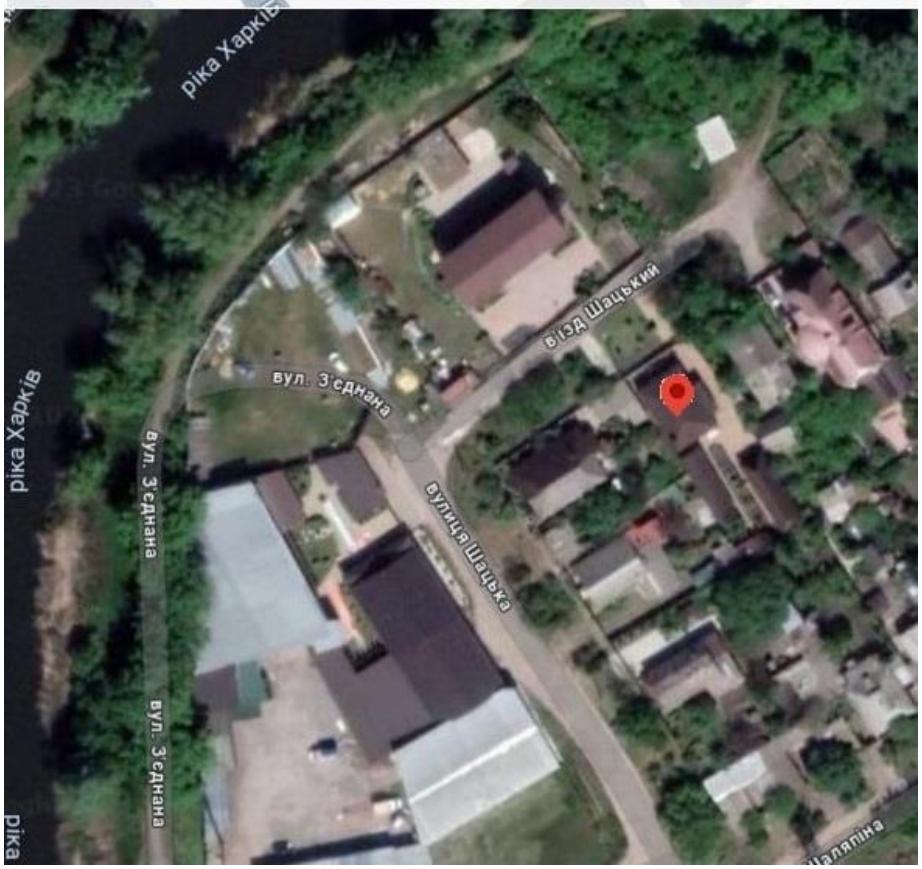


ДОДАТОК Б

Б.1

Географічне розташування об’єктів





Б.2

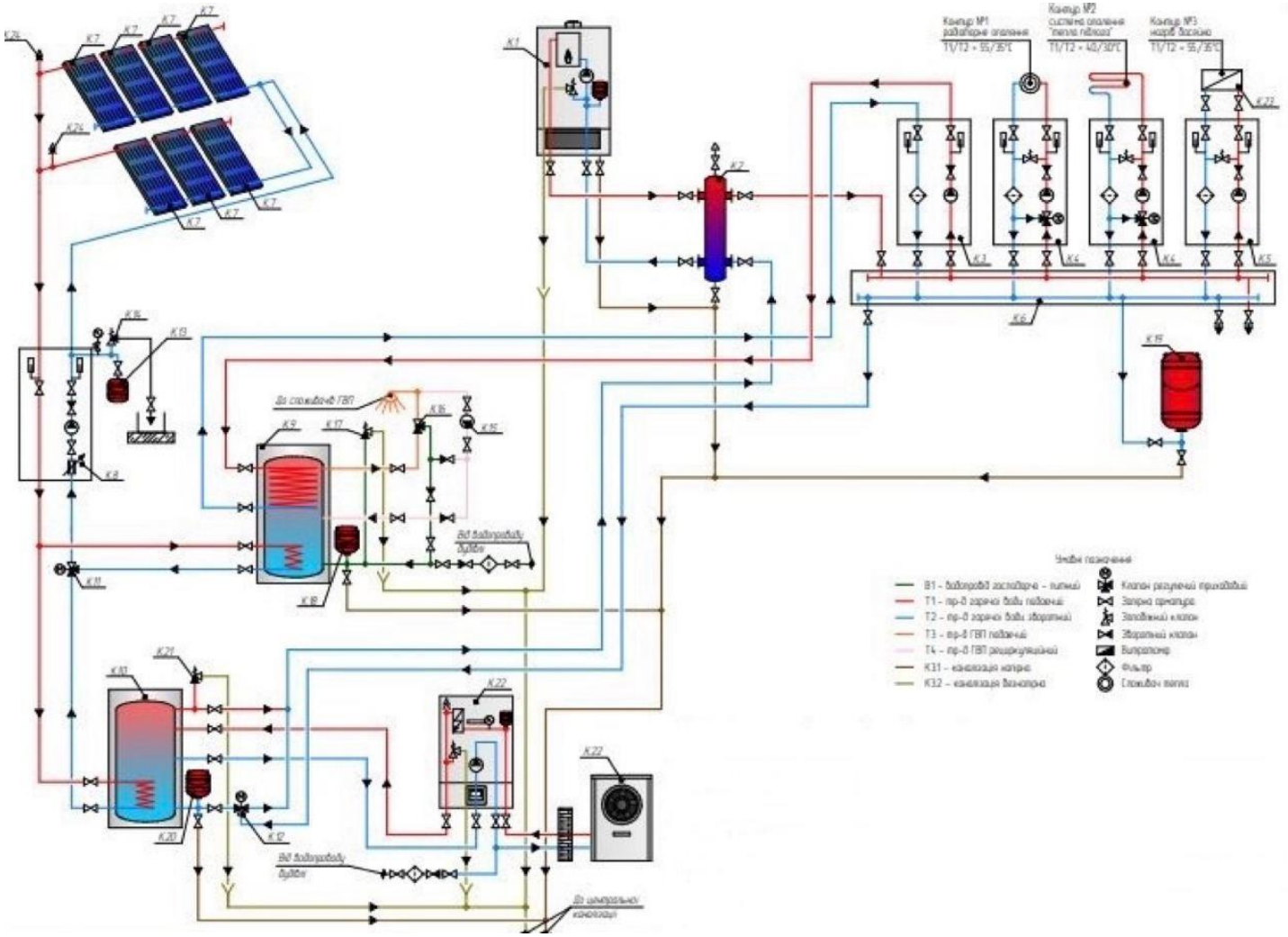
Повітряний тепловий насос Sunrain BLN-031TC1 EVI

Б.3

Буферна ємність

Б.4

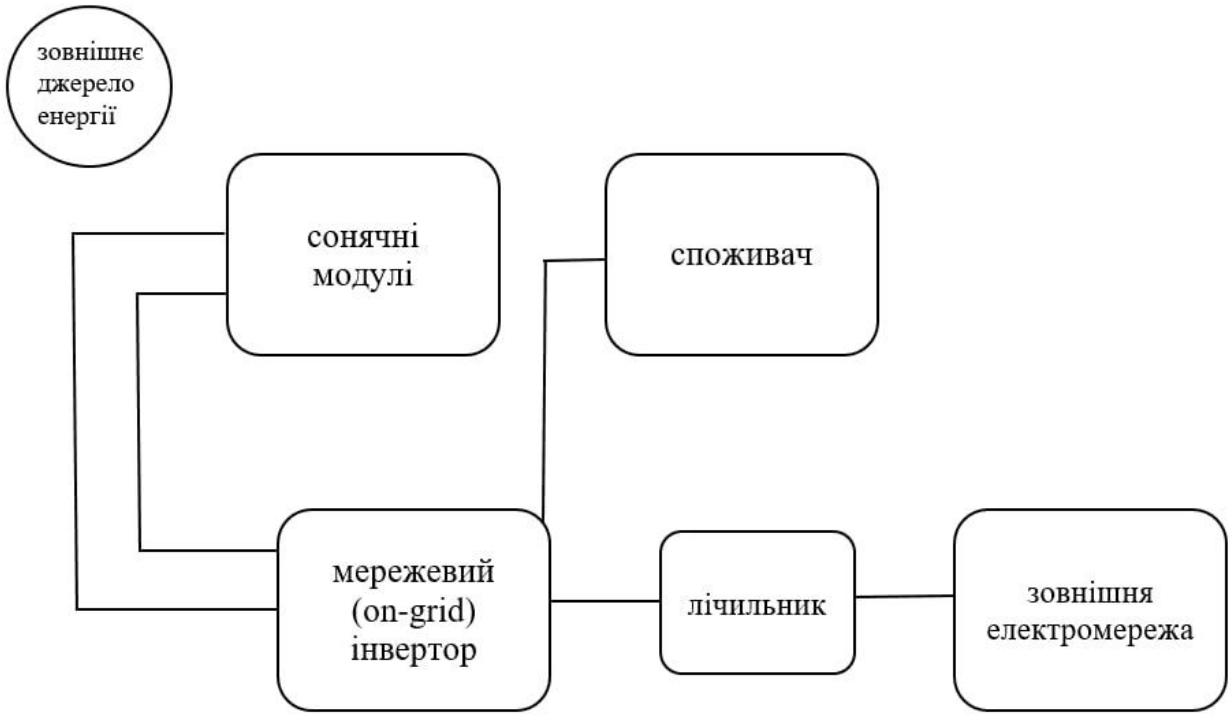
Схема під’єднання теплового насосу



ДОДАТОК В

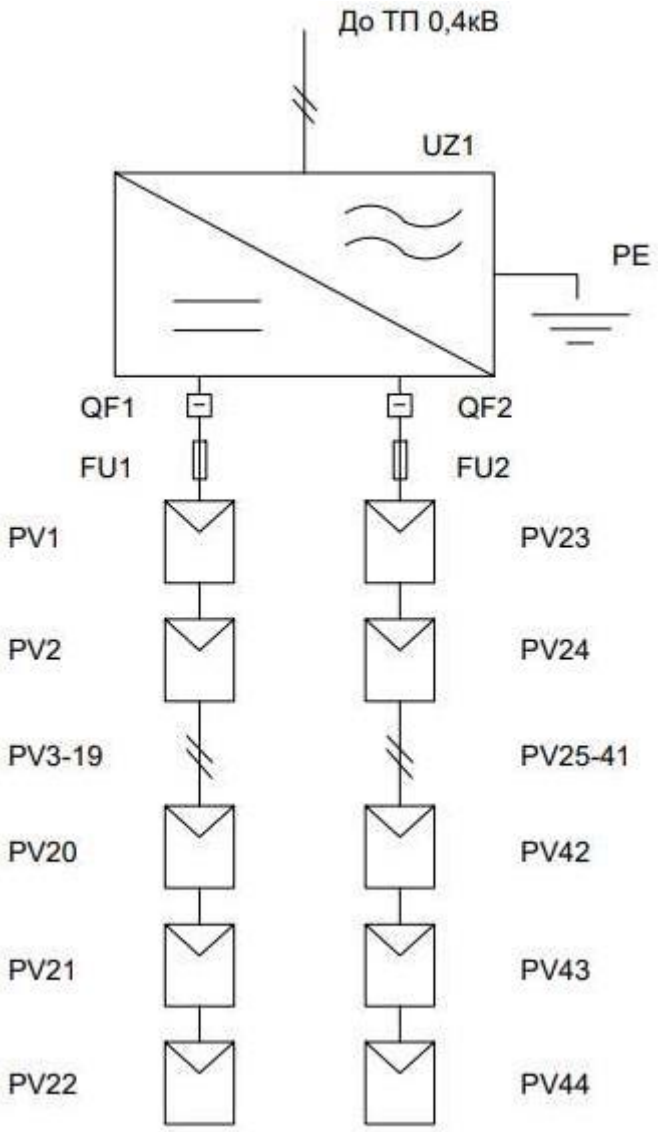
В.1

Загальна схема мережевої сонячної електростанції



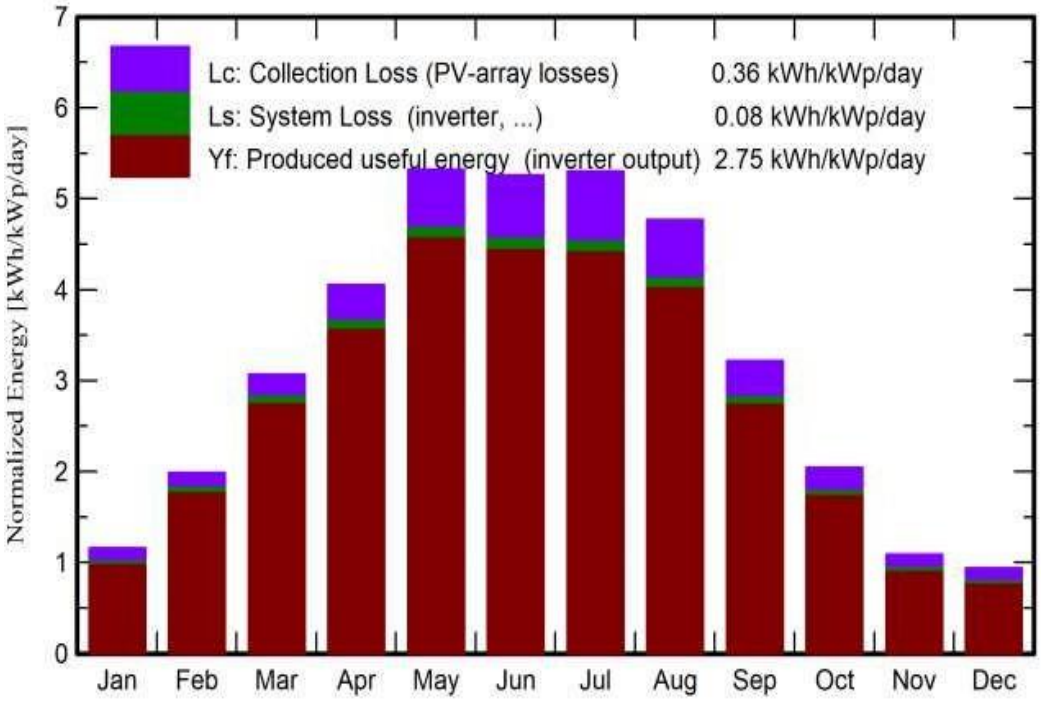
В.2

Схема підключення стрінгів з ФЕМ до інвертора



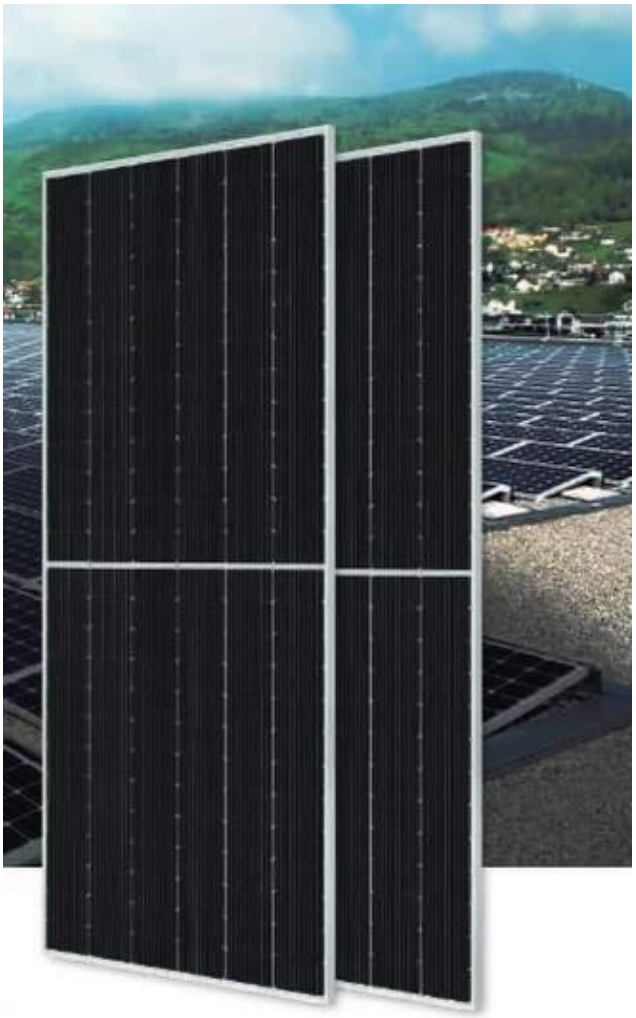
В.3

Графік генерації електроенергії з урахуванням операційних втрат інвертору, омічних втрат в кабелях, втрат в модулях та інших



В.4

Зовнішній вигляд сонячного модуля 600W MBB Bifacial Mono PERC - JAM78D30 585-600\GB



В.5

Зовнішній вигляд Fronius SYMO 10.0-3-M

Пояснювальна записка
До магістерської дисертації

На тему: «Комплексна система енергозабезпечення приватного будинку на основі використання теплових насосів»

В.6

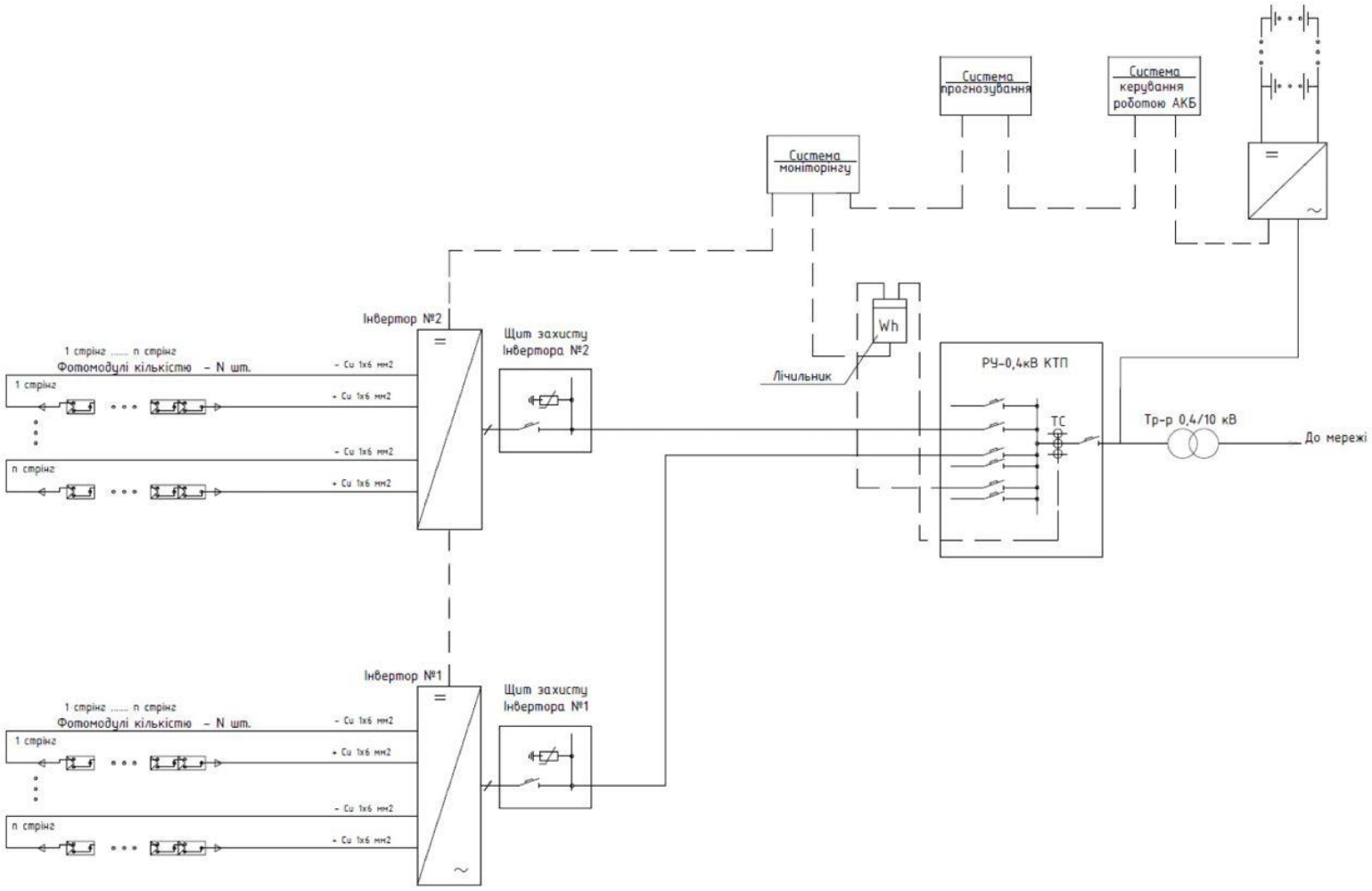



Схема підключення СЕС