

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Інститут енергозбереження та енергоменеджменту

(повне найменування інституту, факультету)

Кафедра геоінженерії

(повна назва кафедри)

«На правах рукопису»

УДК 628.4, 504.06

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ Анатолій КРЮЧКОВ
(підпис) (ім'я, прізвище)

« ____ » _____ 2020 р.

**Магістерська дисертація
на здобуття ступеня магістра**

зі спеціальності 101 Екологія

(код та назва спеціальності)

**на тему: «Вибір раціонального режиму опалення та гарячого
водопостачання житлових приміщення на базі комбінованих теплових
насосів»**

Студент групи ОЗ-91мп Ковальчук В.П. _____
(шифр групи) (прізвище та ініціали) (підпис)

Науковий керівник Крючков А. І., к. т. н., доцент _____
(прізвище та ініціали, науковий ступінь, вчене звання, посада) (підпис)

Консультант Стартап-проекту Шевчук Н. А., к. т. н., доцент _____
(назва розділу) (прізвище та ініціали, науковий ступінь, вчене звання) (підпис)

Рецензент Розен В. П., д.т.н., професор _____
(прізвище та ініціали, науковий ступінь, вчене звання) (підпис)

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

Студент _____
(підпис)

Київ – 2020 року

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Інститут енергозбереження та енергоменеджменту
(повне найменування інституту, факультету)

Кафедра геоінженерії
(повна назва кафедри)

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-науковою програмою

Спеціальність (спеціалізація) – 101 Екологія («Інженерна екологія та ресурсозбереження»)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Анатолій КРЮЧКОВ
(підпис) (ім'я, прізвище)

« ____ » _____ 2020 р.

**ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію**

студенту _____ Ковальчуку Василю Петровичу
(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема дисертації «Вибір раціонального режиму опалення та гарячого водопостачання житлових приміщення на базі комбінованих теплових насосів»,

науковий керівник дисертації Крючков Анатолій Іванович, к. т. н., доцент,
(прізвище, ім'я, по-батькові, науковий ступінь, вчене звання, посада)

затверджені наказом по університету від « 03 » листопада 2020 р. №3199-с

2. Дата подання студентом дисертації « 22 » грудня 2020 р.

3. Об'єкт дослідження – комбіновані теплові насоси.

4. Предмет дослідження – вибір типу та режиму роботи теплового насосу та його використання для опалення, кондиціонування та гарячого водопостачання.

5. Перелік завдань, які потрібно розробити: проаналізувати альтернативні джерела теплової енергії для опалення житлових та комерційних приміщень; визначити необхідні характеристики і властивості, та обґрунтувати вибір теплового насосу; провести математичне моделювання та розробити методику розрахунку теплового насосу «повітря-повітря»; порівняти дані розробленої методики з енергетичним програмним забезпеченням RETScreen; розробити стартап-проект;

6. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу: технологічна схема систем опалення; технологічна схема роботи комбінованого теплового насосу; графік

залежності затрат енергії від температури навколишнього середовища;
 моделювання режиму роботи теплового насосу;

7. Орієнтовний перелік публікацій стаття у збірнику матеріалів II Науково-технічної конференції магістрантів ІЕЕ;

8. Консультанти розділів дисертації

Розділ	Прізвище, ініціали, посада	Дата, підпис	
		завдання видав	завдання прийняв
Нормоконтроль	Репін М.В., к.т.н., асистент		
Стартап-проект	Шевчук Н.А., к.т.н., доцент		

9. Дата видачі завдання: «01» вересня 2020 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1.	Вибір і затвердження теми.	01.09.20-07.09.20	виконано
2.	Підбір і ознайомлення з літературою	08.09.20-28.09.20	виконано
3.	Складання плану, розробка індивідуального завдання	29.09.20-12.10.20	Виконано
4.	Поглиблене вивчення літературних джерел і написання теоретичної частини.	13.10.20-09.11.20	Виконано
5.	Збір і аналітична обробка статистичного матеріалу з теми дослідження	10.11.20-23.11.20	Виконано
6.	Написання дисертації та її оформлення	24.11.20-10.12.20	Виконано
7.	Подання роботи в ДЕК та її захист	11.12.20-22.12.20	Виконано

Студент

(підпис)

Василь КОВАЛЬЧУК

(ім'я, прізвище)

Науковий керівник

(підпис)

Анатолій КРЮЧКОВ

(ім'я, прізвище)

РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація містить 101 сторінку, 32 ілюстрації, 19 таблиць та 52 джерела за переліком посилань.

Актуальність теми дослідження. Вибір режиму та типу комбінованих теплових насосів для забезпечення автономного опалення, вентиляції та гарячого водопостачання, є одним з ключів вирішення енергетичної кризи, а також мінімізації викидів в навколишнє середовище.

Об'єкт дослідження - процес управління тяговим електроприводом рульової системи літака з контуром адаптації за помилкою регулювання.

Мета дослідження: встановлення особливостей експлуатації теплових насосів типу «повітря - повітря» в зимовий період, та вибір типу конструкції і раціональних режимів їх експлуатації. Досягнення зменшення витрат на електроенергію, розробка екологічної, автономної системи опалювання, вентиляції та гарячого водопостачання на базі теплового насосу.

Для досягнення встановленої мети дослідження необхідно розв'язати наступні **завдання**:

- Проаналізувати альтернативні джерела теплової енергії для опалення житлових та комерційних приміщень;
- Визначити необхідні характеристики і властивості, та обґрунтувати вибір теплового насосу;
- Провести математичне моделювання та розробити методику розрахунку теплового насосу «повітря-повітря»;
- Порівняти дані розробленої методики з енергетичним програмним забезпеченням RETScreen;
- Розробити стартап-проект.

Об'єкт дослідження: процес управління тяговим електроприводом рульової системи літака з контуром адаптації за помилкою регулювання.

Предмет дослідження: вибір типу та режиму роботи теплового насосу та його використання для опалення, кондиціонування та гарячого водопостачання.

Методи дослідження: системний аналіз науково-технічної літератури – для огляду класифікації альтернативних систем опалення; моделювання – для визначення впливу кліматичних умов на теплове навантаження; експериментальний – для доведення ефективності запропонованих заходів; графічний – для наочного аналізу результатів експерименту.

Наукова новизна отриманих результатів:

1. Розроблено алгоритм розрахунку підбору теплового насосу для житлових та комерційних. Побудовано чітку систему впровадження теплонасосних систем в первинний та вторинний житловий фонд. Створено проект опалення, вентиляції та гарячого водопостачання, на базі теплового насосу «повітря-повітря», виходячи з власних розрахунків, які підтверджуються з розрахунками через програму RETScreen.

2. Знайшов оптимальний режим роботи комбінованого теплового насосу, даний режим, який полягає в побудові системи комбінованого опалення на базі теплового насосу та додаткової системи типу теплового тена, для зменшення пікового навантаження на систему опалення в зимовий період, а також зменшення енергетичних затрат.

Практичне значення отриманих результатів роботи полягає в розробці перспективних систем опалення на базі теплового насосу які будуть стійкими не залежно від змін кліматичних умов, створення автономної економічно вигідної системи опалення.

Публікації. За результатами виконаних досліджень представлення доповідь на конференції в КПІ ім. Ігоря Сікорського ІЕЕ на кафедрі Геоінженерії.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ТЕПЛОВИЙ НАСОС, НИЗЬКОТЕМПЕРАТУРНІ ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ, ОПАЛЕННЯ, ВЕНТИЛЯЦІЯ, ГАРЯЧЕ ВОДОПОСТАЧАННЯ, , ПИТОМІ ЗАТРАТИ ЗОВНІШНЬОЇ ЕНЕРГІЇ, ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ

ABSTRACT

The master's dissertation contains 101 pages, 32 illustrations, 19 tables and 52 sources according to the list of references.

Relevance of the research topic. The choice of mode and type of combined heat pumps to provide autonomous heating, ventilation and hot water supply is one of the keys to solving the energy crisis, as well as minimizing emissions into the environment.

The object of study is the process of controlling the traction electric drive of the aircraft steering system with the adaptation circuit according to the control error.

The purpose of the study: to establish the features of operation of heat pumps such as "air - air" in the winter, and the choice of design type and rational modes of their operation. Achieving reduction of electricity costs, development of ecological, autonomous heating, ventilation and hot water supply system based on a heat pump.

To achieve the goal of the study it is necessary to solve the following **tasks**:

- Analyze alternative sources of thermal energy for heating residential and commercial premises;
- Determine the necessary characteristics and properties, and justify the choice of heat pump;
- Carry out mathematical modeling and develop a method of calculating the heat pump "air-to-air";
- Compare the data of the developed methodology with the energy software RETScreen;
- Develop a startup project.

Object of research: the process of control of the traction electric drive of the steering system of the aircraft with the adaptation circuit according to the control error.

Subject of research: choice of type and mode of operation of the heat pump and its use for heating, air conditioning and hot water supply.

Research methods: systematic analysis of scientific and technical literature

- to review the classification of alternative heating systems; modeling - to determine the influence of climatic conditions on heat load; experimental - to prove the effectiveness of the proposed measures; graphic - for visual analysis of the experimental results.

Scientific novelty of the obtained results:

- An algorithm for calculating the selection of a heat pump for residential and commercial has been developed. A clear system of introduction of heat pump systems in the primary and secondary housing stock has been built. The project of heating, ventilation and hot water supply is created, on the basis of the heat pump "air-air", proceeding from own calculations which are confirmed with calculations through the RETScreen program;
- Found the optimal mode of operation of the combined heat pump, this mode, which consists in building a combined heating system based on the heat pump and an additional system such as heat, to reduce the peak load on the heating system in winter and reduce energy costs.

The practical significance of the obtained results of work consists in development of perspective heating systems on the basis of the heat pump which will be steady irrespective of changes of climatic conditions, creation of autonomous economically favorable heating system.

Publications. According to the results of the research, a report was presented at a conference at KPI. Igor Sikorsky IEE at the Department of Geoengineering.

KEY WORDS: HEAT PUMP, LOW TEMPERATURE SOURCES OF ENERGY, HEATING, VENTILATION, HOT WATER SUPPLY,, SPECIFIC COSTS OF COSTS

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ	8
ВСТУП	11
1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ ТА НАУКОВИХ НАПРАЦЮВАНЬ ЩОДО АЛЬТЕРНАТИВНИХ ДЖЕРЕЛ ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ ДЛЯ ОПАЛЕННЯ ЖИТЛОВИХ ТА КОМЕРЦІЙНИХ ПРИМІЩЕНЬ.....	15
1.1 Газовий котел	15
1.2 Електричний котел.....	17
1.3 Твердопаливний котел.....	18
1.4 Тепловий насос.....	19
Висновки до розділу 1	25
2 ВИЗНАЧЕННЯ НЕОБХІДНИХ ХАРАКТЕРИСТИК І ВЛАСТИВОСТЕЙ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ТЕПЛОВИХ НАСОСІВ	26
2.1 Порівняльна характеристика	26
2.1.1 Геотермальні теплові насоси	27
2.1.2 Повітряні теплові насоси.....	34
2.2 Фізичні процеси при роботі теплового насосу	39
2.3 Режими роботи , КПТЕ теплового насосу системи «повітря- повітря»	47
2.3.1 Режими роботи теплових насосів.....	47
2.3.2 Розрахунок коефіцієнта перетворення (трансформації) COP теплового насоса	49
2.4 Вибір хладагенту для теплонасосних установок.....	51
Висновки до розділу 2	51
3 МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЬ ТА МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ ТЕПЛОВОГО НАСОСУ «ПОВІТРЯ-ПОВІТРЯ»	52
3.1 Математична модель процесу теплообміну теплового насосу	52
3.2 Математична модель формування теплового режиму роботи теплонасосної установки	55

3.3 Програма підбору теплових насосів	57
3.4 Розрахунку теплового насосу для житлового будинку	59
3.4.1 Розрахунок теплового навантаження на опалення	59
3.4.2 Моделювання графіку навантаження запропонованої системи програмою RETScreen	68
3.5 Алгоритм розрахунку теплового насосу	70
3.6 Аналіз розрахунку теплового насоса	72
3.7 Система теплопостачання житлової будівлі на базі теплового насосу Hitachi Yutaki S Combi RAS- 3WHVNP	73
3.8 План установки теплового насосу в будинок	75
Висновки до розділу 3	76
4 РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЕКТУ ВПРОВАДЖЕННЯ РАЦІОНАЛЬНОГО РЕЖИМУ ОПАЛЕННЯ ТА ГАРЯЧОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ ЖИТЛОВИХ ПРИМІЩЕННЯ НА БАЗІ КОМБІНОВАНИХ ТЕПЛОВИХ НАСОСІВ	77
4.1 Обґрунтування актуальності та новизна інноваційної ідеї стартап- проекту	77
4.2 Модель стартап-проекту.....	78
4.3 Організація проекту	79
4.4 Ключові види діяльності проекту	80
4.5 Ціннісні пропозиції та споживачі.....	82
4.6 Взаємовідносини зі споживачами та канали збуту	86
4.7 Обґрунтування ресурсів та витрат проекту.....	87
4.8 План робіт та партнери стартап-проекту.....	89
4.9 Грошовий потік та економічна оцінка стартап-проекту	90
Висновки до розділу 4	93
ВИСНОВКИ.....	94
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	96

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

ТЕЦ – теплоелектроцентралі;

НВДЕ – нетрадиційні та відновлювані джерела енергії;

ТН – тепловий насос;

ГВП – гаряче водопостачання приміщення;

ТЕН – трубчастий електронагрівач;

ККД – коефіцієнт корисної дії;

COP – коефіцієнт продуктивності теплового насосу;

ТНС – теплонасосна система;

ТНУ – теплонасосна установка;

СКП – системи кондиціонування повітря;

ГВП – гаряче водопостачання;

ПТН – парокомпресійний тепловий насос;

ПВС – пароповітряна станція;

НС – насосна станція;

ВЕР – вторинні енергоресурси.

ВСТУП

Теплова енергія, яка використовується у житлово-комунальному господарстві для опалення і отримання гарячої води, виробляється на основі спалювання нафтопродуктів. Так само, як і у випадку з електроенергією, виробництво теплової енергії пов'язане з викидами в атмосферу шкідливих речовин, які сприяють виникненню кислотних дощів, парникового ефекту і глобального потепління клімату.

Схожість екологічних проблем при виробництві електричної і теплової енергії виявляється вже в тому, що обидва ці види можуть вироблятися на тих самих станціях, які відомі як теплоелектроцентралі (ТЕЦ). Таке спільне виробництво енергії має, крім того, і величезний позитивний ефект. Його суть у тому, що енергія, яка звичайно втрачається при виробництві електроенергії, на теплоелектроцентралях використовується для виробництва тепла, зменшуючи таким чином загальну кількість використаної первинної енергії (тобто органічного палива). Проте екологічні проблеми при цьому залишаються, і їх серйозність багато в чому пов'язана з низькою енергоефективністю наших будинків, які потребують великої кількості енергії внаслідок того, що значна її частина втрачається через не якісну теплоізоляцію.

На сьогоднішній день більшість будівельних компаній використовує при будівництві матеріали, які мають підвищений ступінь ізоляції. Більшу частину складають будинки старої забудови. Проблема енергозбереження набула проблеми світового масштабу, особливо гостро це видно в рості ціни на електроенергію. Україна є залежною від імпорту електроенергії та самої електроенергії.

Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії є важливим пунктом на шляху до сталого розвитку. Здійснення розробки, модернізації, досліджень даних альтернативних джерел, несуть за собою створення не залежного енергетичного потенціалу та впровадження автономності. Важливо розуміти що відмова від викопних видів палива, мінімізую вплив на навколишнє

середовища, та відкриє двері до нового майбутнього.

Використання звичайних викопних палев є не ефективно, так як близько 90 відсотків втрачається при спалюванні енергоносія, тому ефективніше використовувати новітні хімічні процеси де цей проценти досягається на межі 10 відсотків.

Альтернативна енергетика це ключ до розвитку та виживання нації. Як що взяти до уваги наші аспекти розвитку та світові, розбіжності полягають в тому, що світ давно зрозумів всю катастрофічність ситуації та почав впроваджувати зелену енергетику не дивлячись на корпорації яким це не зовсім вигідно, що до нас то нами керують вугільні компанії, нафтова промисловість, газові гіганти всі кому це вигідно , за рахунок цього ми відстаємо.

На сьогодні частина відновлювальної енергії у світовому виробництві ще не є значною (близько 14 %), так це не велика частина, але це тільки початок, на сьогодні десятки проектів які вже реалізуються, створюються десятки компаній та розроблюються нові методи отримання чистої енергії. Прогнозується що за ще 10 років, виробництво енергії зросте до 15 %. Ми вступаємо в еру чистої енергетики, людство не може нехтувати енергетичною кризою, це призведе до поділу ресурсів а можливо і до війни.

В Україні також є великий потенціал використання відновлювальної енергії. Це відбувається завдяки зниженню цін на устаткування, та затрат на установку та обслуговування даного обладнання. Але ми зіштовхнулися з іншою проблемою, вона пов'язана з не достатнім рівнем знань, відсутністю внутрішніх компаній зеленої енергетики, відсутністю інвесторів, бездіяльністю держави та високою корупцією. Виходячи зі всіх недоліків Україна крок за кроком виходить зі всіх цих проблем, стимулює енергетична криза, збільшення ціни на викопне паливо низька енергоефективність та ряд інших проблем.

Таким чином, ми маємо велику потребу в переході до енергетично ефективних та екологічно чистих технологій.

Джерел низькопотенціальної енергії це один з напрямків розвитку в енергетичній незалежності. Данна енергія є широко розповсюдженна у всьому світі, вона знаходиться в ґрунті, воді, повітрі навіть при -20. Все що потрібно для користування цією енергією у нас вже є. Для трансформації такої енергії потрібно лише встановити трансформатор низькопотенціального тепла, чим і являється тепловий насос. Теплонасосні установки це великий спектр можливостей та велика економія енергоресурсів та економічна доцільність впровадження. На сьогодні ринок теплових насосів займає всього 7%, це найменший показник в Європі, коли ціни на газ були в 10 раз меншими це було економічно вигідно, але зараз коли ціни на викопні енергоресурси високі ціна опалення з кожним роком росте, нам потрібно почати впроваджувати новітні енергетичні системи по типу теплових насосів. Дані системи є економічно виправдані за рахунок маленького споживання електрики та довговічності.

Тому науково-практичне завдання, яке полягає в розробці алгоритму розрахунків типу та режиму роботи теплового насосу для опалення, вентиляції та гарячого водопостачання, *є актуальною*.

Мета дослідження: встановлення особливостей експлуатації теплових насосів типу «повітря - повітря» в зимовий період, та вибір типу конструкції і раціональних режимів їх експлуатації. Досягнення зменшення витрат на електроенергію, розробка екологічної, автономної системи опалювання, вентиляції та гарячого водопостачання на базі теплового насосу.

Для досягнення встановленої мети дослідження необхідно розв'язати наступні **завдання**:

- здійснити огляд існуючих систем опалення та гарячого водопостачання;
- проаналізувати існуючі системи альтернативних систем опалення та гарячого водопостачання;
- розробити модель автономного підключення комбінованої системи теплового насосу, за алгоритмом провести розрахунки;

- провести моделювання в рамках заданої теми;
- розробити функціонуючу схему опалення на базі комбінованого теплового насосу;
- розробити стартап-проект.

Об'єкт дослідження: процес управління тяговим електроприводом рульової системи літака з контуром адаптації за помилкою регулювання.

Предмет дослідження: вибір типу та режиму роботи теплового насосу та його використання для опалення, кондиціонування та гарячого водопостачання.

Наукова новизна отриманих результатів.

1. Розроблено алгоритм розрахунку підбору теплового насосу для житлових та комерційних. Побудовано чітку систему впровадження теплонасосних систем в первинний та вторинний житловий фонд. Створено проект опалення, вентиляції та гарячого водопостачання, на базі теплового насосу «повітря-повітря», виходячи з власних розрахунків, які підтверджуються з розрахунками через програму RETScreen.

2. Знайшов оптимальний режим роботи комбінованого теплового насосу, даний режим, який полягає в побудові системи комбінованого опалення на базі теплового насосу та додаткової системи типу теплового тена, для зменшення пікового навантаження на систему опалення в зимовий період, а також зменшення енергетичних затрат.

Практичне значення одержаних результатів полягає в розробці перспективних систем опалення на базі теплового насосу які будуть стійкими не залежно від змін кліматичних умов, створення автономної економічно вигідної системи опалення.

1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ ТА НАУКОВИХ НАПРАЦЮВАНЬ ЩОДО АЛЬТЕРНАТИВНИХ ДЖЕРЕЛ ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ ДЛЯ ОПАЛЕННЯ ЖИТЛОВИХ ТА КОМЕРЦІЙНИХ ПРИМІЩЕНЬ

1.1 Газовий котел

Конденсаційний котел є молодшим братом найбільш традиційного газового конвекційного котла. Принцип останнього надзвичайно простий, а тому зрозумілий навіть людям, які погано розбираються у фізиці та техніці. Паливом для газового котла, як випливає з назви, є природний (основний) або скраплений (аеростатний) газ. При спалюванні блакитного палива, як і будь-якого іншого органічного, утворюється вуглекислий газ і вода і виділяється велика кількість енергії. Тепло, що виділяється, йде на нагрівання теплоносія - технічної води, яка циркулює через систему опалення будинку.

ККД газового конвекційного котла $\sim 90\%$. Це не так погано, принаймні вище, ніж для теплогенераторів на рідкому та твердому паливі. Однак люди завжди прагнули максимізувати цей показник до заповітних 100% . У зв'язку з цим виникає питання: куди йдуть інші 10% ? Відповідь, на жаль, прозаїчна: вони вилітають у трубу. Дійсно, продукти згоряння газу, що виходять із системи через димохід, нагріваються до дуже високої температури ($150-250^\circ\text{C}$), а це означає, що 10% втраченої нами енергії витрачається на нагрівання повітря за межами будинку [13].

Ми можемо розглядати систему центрального опалення як безперервний контур, що виводить гарячу воду з котла через усі радіатори по черзі, а потім знову назад, щоб набрати більше тепла. На практиці схема, як правило, є більш складною і заплутаною, ніж це. Замість послідовного розташування, сучасні системи, швидше за все, матимуть паралельні "магістралі" та "гілки" (з кількома радіаторами, що живляться із загальної магістральної труби) - але для цього пояснення я робити все просто [16]. Вода назавжди закрита всередині системи (якщо вона не зливається для технічного обслуговування); однакова вода циркулює навколо вашого будинку щодня.

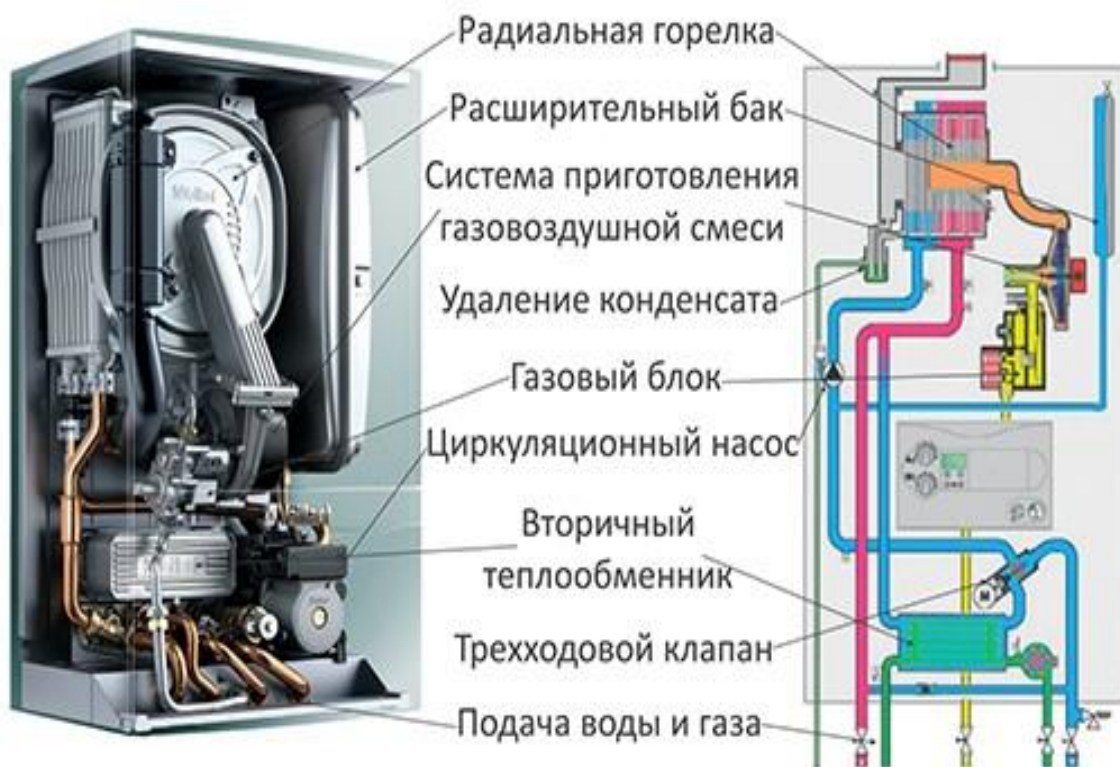


Рисунок 1.1 – Конструктивна схема газового котла

Ось як працює газовий котел:

1. Природний газ потрапляє до вашого будинку з труби на вулиці. Все тепло, яке буде зігрівати ваш будинок, зберігається у хімічному вигляді всередині газу.
2. Котел спалює газ, виробляючи гарячі струмені, які грають на теплообміннику (по суті, це мідна труба, що містить воду, яка кілька разів прогинається туди-сюди через газові струмені, завдяки чому вона набирає максимальну кількість тепла). Теплова енергія від газу передається воді [15].
3. Електричний насос штовхає нагріту воду через систему.
4. Вода обтікає замкнутий контур всередині кожного радіатора, входячи з одного боку і виходячи з іншого. Оскільки кожен радіатор віддає тепло, вода стає прохолоднішою, коли вона залишає радіатор, ніж коли входить. Після того, як вона пройде через усі радіатори, вода значно охолоне і повинна повернутися в котел, щоб набрати більше тепла. Ви бачите, що вода насправді - це просто пристрій для транспортування тепла, який забирає тепло від газу в котлі і по черзі скидає частину його до кожного радіатора.

5. Насос досить потужний, щоб проштовхувати воду наверх через радіатори там.

6. Термостат, встановлений в одній кімнаті, контролює температуру і вимикає котел, коли досить гаряче, знову вмикаючи котел, коли в приміщенні стає занадто холодно.

7. Відпрацьовані гази котла виходять через невелику димову трубу, яка називається димоходом, і розсіюються в повітрі.

1.2 Електричний котел

Електродний котел – це котел не вимагає додаткової вентиляції або агрегат прямої дії, тобто без посередників. Нагрів води відбувається за рахунок протікання електричного струму через теплоносії. Процес нагріву відбувається внаслідок хаотичного руху іонів теплоносія від анода до катода з частотою 50 Гц, що і викликає швидке підвищення температури теплоносія [14]. Ефективність нагріву залежить від властивостей теплоносія. А властивості теплоносія, в свою чергу, залежать від кількості домішок в ньому іонів. Принцип роботи електричного котла (електрокотла) досить простий: теплоносії подається на вхід електричного котла, проходить через трубчастий електронагрівач (ТЕН) і вже нагрітим повертається в систему опалення. Як ми бачимо, теплоносії в системі нагрівається без відкритого полум'я. тому електричний окремого приміщення.



Рисунок 1.2 – Конструктивна схема електричного котла

1.3 Твердопаливний котел

Всі котли, що працюють на твердому паливі, поділені на кілька типів, які відрізняються між собою багатьма показниками. Але за основними характеристиками, їх підрозділяють на чотири види:

- Класичні;
- Піролізні котли опалення;
- Котли тривалого горіння;
- Автоматичні.

Розглянемо роботу такого котла на прикладі найефективнішого, піролізного. Піролізний котел працює за принципом піролізу, тобто розкладання та газифікації твердого палива. Цей процес відбувається при закритому димарі і закритій камері згоряння. Після вивільнення деревного газу, що утворився в процесі піролізу, він направляється в сопло пальника, де змішується з вторинним повітрям, який накачує вентилятор. Після цього газова суміш потрапляє в камеру згоряння, де запалюється. Горіння відбувається при температурі, яка досягає 1200°C , і процес буде продовжуватися до повного згоряння твердого палива. У твердопаливних піролізних котлів дуже високий ККД- він дорівнює 90%, а тривалість горіння може сягати близько 10 годин. Повне згоряння дров забезпечує простоту експлуатації, а контроль подачі повітря забезпечує повне регулювання температури теплоносія [11].



Рисунок 1.3 – Конструктивна схема твердопаливного піролізного котла

1.4 Тепловий насос

Тепловий насос - це пристрій, який може забезпечувати опалення, охолодження та гарячу воду для побутових, комерційних і промислових підприємств.

Він перетворює енергію повітря, землі і води в корисне тепло. Це перетворення здійснюється через цикл холодоагенту.

Візьмемо, наприклад, геотермальний тепловий насос:

Випаровування. Тепловий насос завжди має зовнішнє джерело тепла і внутрішню розетку. Зовнішніми джерелами можуть бути навколишнє повітря, відпрацьоване повітря, ґрунтові породи, ґрунтові води, вода і т.д.. Енергія з цих джерел нескінченна і, отже, є відновлюваною. Ця енергія становить близько 75% енергії, яка використовується для приводу теплового насоса [44].

Рідина в підземних трубах поглинає тепло від землі. Зовнішній теплообмінник, випарник, використовує теплову енергію зовнішнього джерела для кип'ятіння холодоагенту (рідини в тепловому насосі) і перетворює його в газоподібний стан.

Ключ до розуміння цього: земля має стабільну температуру близько 10-12 ° С протягом всього року. Цією температури достатньо для нагріву холодоагенту, оскільки він має дуже низьку температуру кипіння. Це означає, що для нагрівання потрібно тільки дуже низька температура [17].

Стиснення. Потім холодоагент потрапляє в саме серце теплового насоса: компресор. Компресор стискає холодоагент, що знаходиться в газоподібному стані, до високого тиску, що призводить до підвищення температури.

Ключ до розуміння цього: високий тиск нагріває газ (уявіть велосипедний насос, який нагрівається, коли ви його використовуєте (качаєте)).

Для приводу компресора потрібна додаткова енергія: електрику, газ чи тепла енергія. Це становить 25% від загальної енергії, необхідної для роботи теплового насоса. Якщо використовується зелена електроенергія - наприклад, за допомогою фотоелектричної енергії - тоді тепловий насос використовує

100% поновлювані джерела енергії і, отже, нейтральний по CO₂ [22].

Конденсація. На нагнітаючій стороні компресора тепер гаряча пара під високим тиском проходить через другий теплообмінник, званий конденсатором. Цей теплообмінник дозволяє холодоагенту відводити тепло в систему опалення будинку (повітродувка, тепла підлога або радіатори), в результаті чого холодоагент потім конденсується, тобто холодоагент переходить з газоподібного стану в рідке.

Випускний отвір в приміщенні може бути повітряною системою (як типові кондиціонери) або гідравлічної (водяний) системою, де тепловий насос підключений до системи підігріву підлоги або радіаторів. Для забезпечення гарячою водою для побутових потреб внутрішній блок (також) має резервуар для гарячої води, обсяг якого може доходити до декількох сотень літрів.

Розширення. Потім конденсований холодоагент проходить через пристрій зниження тиску, розширювальний клапан. Потім рідкий холодоагент під низьким тиском надходить в інший теплообмінник, випарник, в якому рідина поглинає тепло і кипить. Після цього цикл починається знову [20].



Рисунок 1.4 – Конструктивна схема теплового насосу

Тому тепловий насос на сьогодні є одним із самих дешевих та багато функціональних систем для забезпечення автономії в житловому та комерційному секторі завдяки своєму високому ККД та високому функціоналу з різним і енергетичними та тепловими систематим.

Також можна відокремити його переваги:

Економічність. Тепловий насос з повітряним джерелом (ASHP) зазвичай виробляє близько 4 кВт теплової енергії на кожен 1 кВт споживаної електроенергії, що дає ефективний «КПД» 400%. Термодинамічно неможливо мати КПД вище 100%, це означає, що виражається більше енергії, чим зачіпається. За цією причиною виробнича виразність виражається як коефіцієнт продуктивності (COP), а не КПД [6]. Приведений вище приклад може бути виражений як іменуючий КПД 4. При цьому, що означає, що енергія виробляє більше, чим споживається, замикається в тому, що єдина «цінна» енергетика є енергією, що використовується для приводу компресора та циркуляційних насосів. Залишок енергії просто передається від джерела тепла, який у протилежному випадку не використовується (наприклад, навколишній повітря).

Широкий спектр застосування. У будь-якій будівлі від приватних будинків, багатоповерхових житлових будинків і цілих житлових комплексів до офісів, комерційних і громадських будівель, а також спортивних і культурних установ, до виробничих і складських приміщень і т. Д

Різноманітність різних методів будівництва зі спеціальною теплоізоляцією або без неї - від пасивного будинку / будинку з низьким енергоспоживанням і методів будівництва останніх десятиліть до старих замків - безмежно. Це означає, що систему теплового насоса необхідно підбирати індивідуально для кожного будинку.

Екологічність. Слово «екологічність» зараз у всіх на слуху, і ми все намагаємося зробити все можливе, щоб скоротити вуглецевий слід. Ваш будинок - це всього лише одне місце, де у вас є автономія, щоб практикувати стійкість всюди, де це можливо, змінюючи дещо тут і там, щоб створити більш

екологічний будинок [8].

Коли справа доходить до опалення вашого будинку, усвідомлення свого впливу на навколишнє середовище не обов'язково має відбуватися за рахунок вашого комфорту. Теплові насоси - це найбільш енергоефективне опалювальне рішення, яке усуває необхідність в менш надійних джерелах тепла.

Тепер, коли ми знаємо більше про викиди вуглецю, ми знаємо, наскільки вони шкідливі для навколишнього середовища. Якщо ви використовували газовий обігрівач або дров'яну пальник, безумовно пора переключитися на щось з мінімальним викидом вуглецю або без нього. Прилад не спалює паливо, виходить, не утворюються шкідливі окиси типу CO, CO₂, NO_x, SO₂, PO₂. Тому навколо будинку на ґрунті немає слідів сірчаної, азотистої, фосфорної кислот і бензольних з'єднань [3].

Універсальність. Робота на опалення, кондиціонування та ГВП. Вищий рівень комфорту в будинку при меншій температурі теплоносія прямої лінії. Екологічно чистий спосіб кондиціонування. Влітку надлишкове тепло можна використовувати для підігріву побутової води або для басейну.

Безпека. Теплові насоси не містять елементів які були би вибуховими та могли легко загорітися. У процесі використання відсутні небезпечні гази, відкритий вогонь або шкідливі суміші. Конструкція теплового насосу не нагрівається і не може загорітися. Не запланована зупинка теплового насосу у зв'язку з знеструмленням не веде до поломок, його можна використовувати після тривалої перерви. Також неможливе замерзання фреону або росолу у компресорі або теплообміннику [22].

Отже, ефективною заміною газовому котлу, котла на твердому паливі, електричному котлу з використанням електрики без сумніву буде система опалення на основі теплового насоса.

Таблиця 1.1 - Порівняльні характеристики опалювальних установок потужністю 10,8 кВт / год.

Технічні характеристики	Спосіб опалення приміщення			
	Газовий котел	Котел на твердому паливі	Електричний котел	Тепловий насос
Вартість обладнання	Середня	Середня	Низька	Висока
Опалювальна площа, м ²	150	150	150	150
Потужність установки, кВт	10.8	10.8	10.8	10.8
Витрати електроенергії, кВт/год	4.5	6	13	2
Джерело теплової енергії	Газ	Деревина	Електричний струм	Тепло землі, повітря. електричний струм
Витрата енергоносія в рік	5000 м ³	46 м ³	69000 кВт*год	Енергія землі, повітря-безкоштовна
Строк експлуатації	15-20 років	15-20 років	3-8 років	До 50 років
Пожежна безпека	Небезпечний	Небезпечний	Небезпечний	Безпечний
Вибухова безпека	Небезпечний	Небезпечний	Небезпечний	Безпечний

Продовження таблиці 1.1

Рівень екологічної безпеки	Шкідливі (виділяє CO та NO)	Шкідливий (виділяє CO та NO)	Не шкідливий	Не шкідливий
Вентиляція	Необхідна	Необхідна	Не потрібна	Не потрібна
Обслуговування	Регулярний огляд	Регулярний огляд	Періодичний огляд	Періодичний огляд
Надійність	Висока	Висока	Висока	Дуже висока
Автономність при відсутньому живленні енергоносія	Не забезпечує	Не забезпечує	Не забезпечує	Забезпечує при наявності електрогенератора потужність 2 кВт
Можливість охолодження приміщення	Не забезпечує	Не забезпечує	Не забезпечує	Забезпечує

Із порівняльних характеристик представлених в таблиці випливає:

- вже на даний момент теплові насоси являються більш економічними ніж котли на твердому паливі або електроопалення;
- також можна відмітити, що ріст цін буде різким, оскільки природних запасів нафти і газу залишилося всього на 40 і 60 років відповідно;
- за 10 років експлуатації теплового насоса можна отримати економію, порівняно з електричним опаленням, \$35 тис., За 15 років - \$60 тис., За 20 років \$87 тис.
- крім прямого економічного ефекту, тепловий насос абсолютно екологічно безпечне джерело теплопостачання, пожежно та вибухобезпечний.

Висновки до розділу 1

1. Проведений огляд літературних джерел і їхній аналіз дозволив відібрати для порівняння індивідуальних джерел генерації тепла: газовий котел, електричний котел, твердопаливний котел, тепловий насос;
2. Порівняльний аналіз технічних, економічних, екологічних параметрів дозволив установити, що для умов прийнятих в даній роботі раціональним варіантом являються теплові насоси;
3. У зв'язку з викладеним, метою даної роботи являється встановлення особливостей експлуатації теплових насосів в зимовий період;
4. Для досягнення поставленої в роботі мети, розроблені та вирішені наступні наукові задачі;
 - Аналіз альтернативних джерел теплової енергії;
 - Порівняння різних типів тепло насосних установок;
 - Розрахунок процесів теплового насосу з використанням математичних моделей;
 - Еколого - економічна доцільність використання теплових насосів.

2 ВИЗНАЧЕННЯ НЕОБХІДНИХ ХАРАКТЕРИСТИК І ВЛАСТИВОСТЕЙ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ТЕПЛОВИХ НАСОСІВ

2.1 Порівняльна характеристика

Залежно від принципу роботи тип теплового насоса підрозділяється на абсорбційний або компресійний. Компресійний тепловий насос приводиться в дію за допомогою механічної енергії, наприклад, електроенергією. Абсорбційний тепловий насос в якості джерела енергії може також використовувати тепло, отримане за коштами палива або електроенергії [11].

У залежності від застосовуваного в якості відбору тепла джерела, теплові насоси діляться на геотермальні замкнутого або відкритого типу, де використовується наземне або підземне тепло землі або ґрунтових вод, повітряні, де як джерело відбору тепла служить повітря і теплові насоси, які використовують як джерело відбору тепла вторинне, такий варіант найбільш доцільний для промислових об'єктів, де є джерела тепла, що вимагають утилізації [42].

Залежно від виду теплоносія з боку вхідного і вихідного контуру теплові насоси підрозділяються на шість типів:

- повітря-повітря;
- вода-вода;
- ґрунт-вода;
- повітря-вода;
- вода-повітря;
- ґрунт-повітря.

Відповідно до теорії, застосування теплових насосів для обігріву приміщень може бути ефективніше газових котлів. На практиці доводиться враховувати всі накладні витрати з розподілу, перетворення і передачі електроенергії, послуги енергомереж. За цим доцільно застосовувати електрику від альтернативних джерел електроенергії або комбінувати

генерацію електроенергії з газу з використанням її для отримання тепла в тому ж тепловому насосі [9].

Вибір певного джерела та його ефективність фактично має залежність від середньорічних кліматичних умов конкретного регіону та їх впливу на це джерело теплоносія. Найефективніше - це витяг тепла від ґрунту, тому що на глибині в кілька метрів його температура не змінюється на протязі року. Відповідно це робить установку теплового насоса практично незалежною від погоди [5].

2.1.1 Геотермальні теплові насоси

Принцип роботи геотермального теплового насоса полягає в відборі тепла від ґрунту та передачі його в систему опалення на більш високому рівні.

Робота теплового насосу відображений в циклі Карно, опублікованому в 1824 р. у його дисертації, та загальновідомий з шкільного курсу фізики. Практичну теплонасосну систему запропонував лорд Кельвін у 1852 р. під назвою „помножувач тепла”(рис. 2.1) [43].

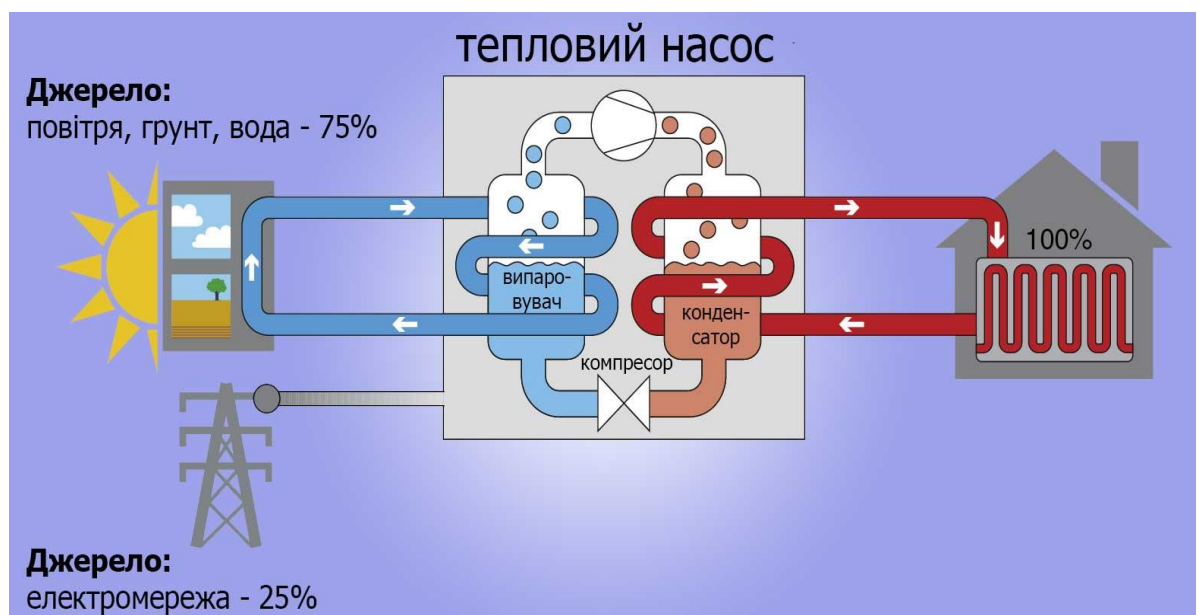


Рисунок 2.1 - Принципова схема роботи теплонасосної системи

Ґрунт на протязі всього року має плюсову температуру, в Україні максимальна глибина промерзання близько 2 метрів, зі зміною клімату

глибина промерзання стала близько 1 м. Тому ґрунт остається джерелом постійної теплової енергії, яку можна використовувати в власних цілях.

Відомо, що температура ґрунту на глибині до 100 м протягом року становить в середньому 3-8°C в залежності від типу ґрунту та насиченості його ґрунтовими водами. Геотермальні (ґрунтові або водні) теплові насоси досягають більш високої ефективності завдяки передачі тепла між вашим будинком та землею або сусіднім джерелом води. Незважаючи на те, що їх встановлення коштує дорожче, геотермальні теплові насоси мають низькі експлуатаційні витрати, оскільки використовують переваги відносно постійних температур ґрунту або води. Геотермальні (або наземні) теплові насоси мають деякі основні переваги. Вони можуть зменшити споживання енергії на 30% -60%, контролювати вологість, міцні та надійні та вміщуються у різноманітних будинках. Чи підходить вам геотермальний тепловий насос, буде залежати від розміру вашої ділянки, надр та ландшафту. Теплові насоси із землею або водою можна використовувати в більш екстремальних кліматичних умовах, ніж теплові насоси із джерелом повітря, і задоволеність споживачів системами дуже висока [42].



Рисунок 2.2 - Принцип відбору геотермального тепла

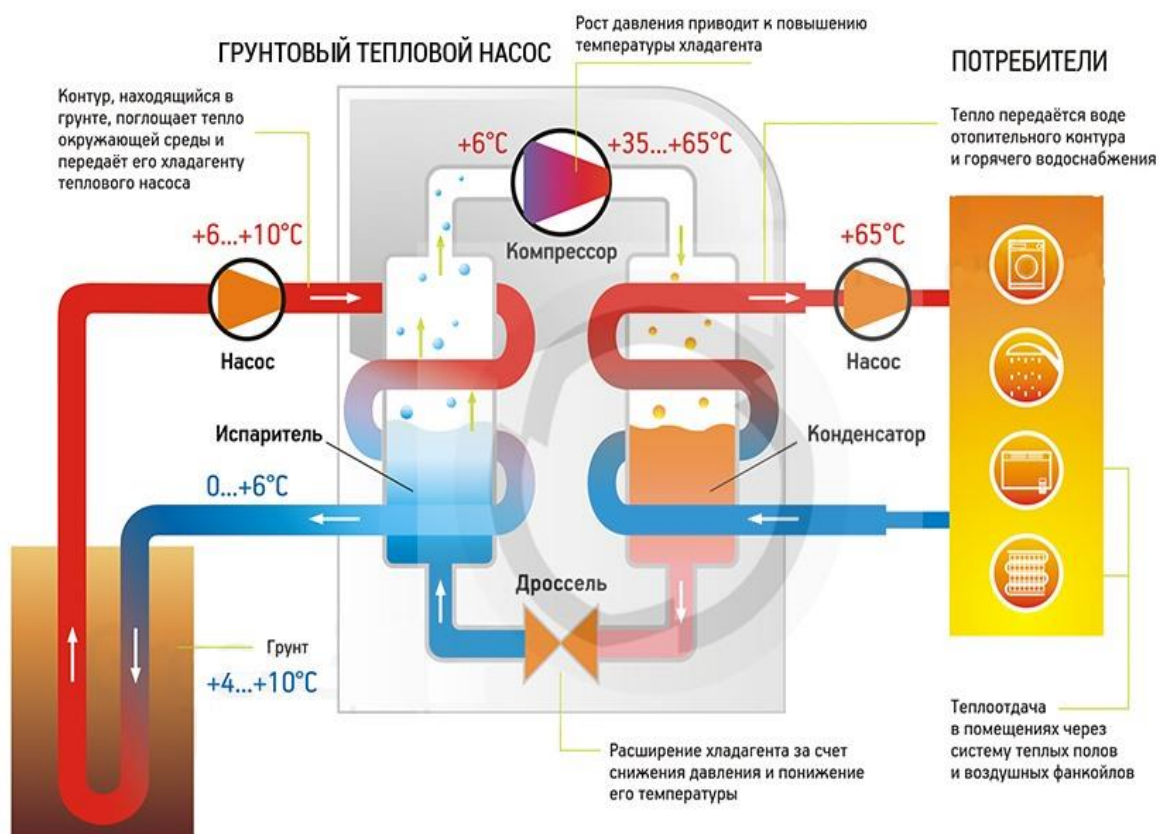


Рисунок 2.3 - Схема відбору геотермального тепла

Геотермальні теплові насоси використовують постійні температури Землі для нагрівання та охолодження. Хоча температура повітря над землею змінюється протягом дня та пори року, температура землі на 2 м під землею постійно знаходиться алюсова температура. Геотермальні теплові насоси передають тепло від землі (або води) до будівель взимку, а влітку – зворотно [37].

Тепловий насос складається з:

- теплообмінника передачі тепла низького потенціалу внутрішньому контуру (випарник);
- компресора;
- теплообмінника передачі тепла внутрішнього контуру системи опалювання (конденсатор);
- дросельного пристрою для пониження тиску(є або регульованим соплом або отвором, або капілярною трубкою).

Тому можна умовно поділити тепловий насос на три області:

1. Грунтовий контур

В пластикових трубах незамерзаюча рідина - фреон - циркулює від теплового насоса до джерела тепла (скала / ґрунт / озеро / вода). Енергія джерела з теплом нагріває фреонову трасу на декілька градусів, наприклад від -5°C до 0°C .

Фреон по трубах повертається до випарника теплового насоса. Тут фреон передає тепло, остиває на декілька градусів від 0°C до -5°C . А потім знову фреон по трасі повертається в джерело тепла в ґрунті [3].

2. Контур фреону

Винахід фреону зменшує тривалість циклів розморожування в сучасних теплових насосах шляхом переходу контуру холодоагенту системи, в два паралельних контури холодоагенту які з'єднують реверсивний клапан із зовнішньою котушкою. Один контур включає акумулятор уловлювача із зворотним клапаном у вихідному трубопроводі, що забезпечує однонаправлений потік холодоагенту через нього лише під час циклів нагрівання, а другий контур включає зворотний клапан для однонаправленого потоку холодоагенту від реверсивного клапана безпосередньо до зовнішньої котушки в обхід акумулятор холоду під час циклів розморожування, щоб запобігти перехопленню гарячого газу із внутрішньої котушки, необхідної для швидкого розморожування зовнішньої котушки.

3. Гріюча сторона

Теплова енергія, яку віддав фреон в конденсаторі, передається воді опалювальної системи, або на підігрів гарячої води, повітря.

Теплова енергія буде присутня в будь-якому об'єкті, який має температуру в дві третини мережі. Тільки теплові насоси можуть отримувати тепло від будь-яких предметів - землі, води, льоду, скла, води [10].

В кліматичних умовах України його беруть із водойми (або резерву) для опалення енергетичних будівель. Якщо необхідно охолодити будинок, то решта тепла потім піде на процес нагріву - температури води або басейну. Для опалення та гарячого водоаопалення можна використовувати окремий

тепловий насос. Зрозуміло, що тепловий насос може зменшити функцію нагріву води для нагрівання гарячої води, кондиціонування повітря, опалення басейну, охолодження, вентиляції, опалення дахів, підлоги тощо. Це вказує на те, що одна система може використовуватись у всіх функціях опалення або охолодження [4].

Обмін теплом із навколишнім середовищем геотермальні теплові насоси здійснюють такими основними способами. **Насос з відкритим циклом** - з підземного потоку забирається вода, подається до розташованого в будинку насосу, вода віддає/забирає тепло у теплового насосу, і повертається до підземного потоку [51].

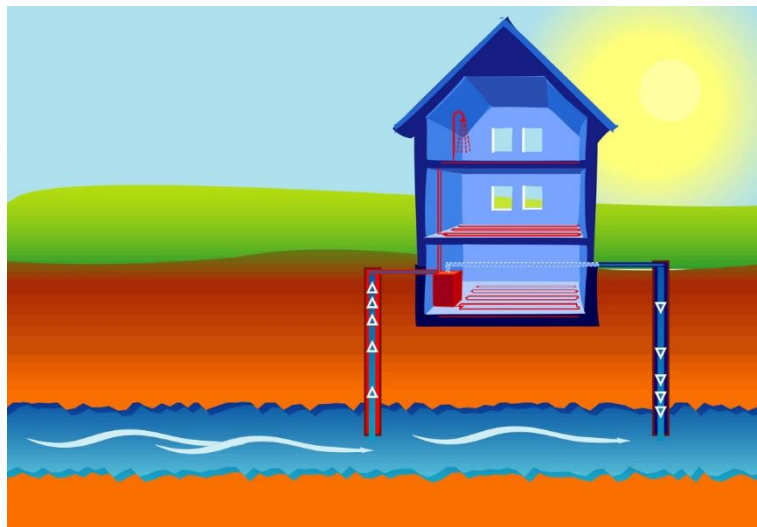


Рисунок 2.4 - Схема теплообміну відкритого способу

Плюсом такого способу є можливість одночасного використання підземної води для водопостачання будинку. Такі системи є дуже ефективними, адже температура підземної води є відносно високою і цілорічно стабільною. Використання підземної води не шкодить ґрунтовим водам, не змінює рівня ґрунтових вод у водному горизонті, оскільки відкриту систему можна розглядати як сполучені посудини, де вода, відбираєма з однієї свердловини, повертається на своє місце через другу свердловину. Коректно, у відповідності з нормативами споруджені свердловини забезпечують безпечну для оточуючої природи стабільну роботу системи опалення.

Насос з закритим циклом і водорозташованим теплообмінником - спеціальна рідина (теплоносії) прокачується по колекторам (трубкам), що знаходяться у водоймі, та віддає/забирає тепло у водойми. Будинки доцільно опалювати енергією відкритої водойми в тому випадку, якщо будинок знаходиться від водойми ближче 100 метрів, і глибина водойми, а також берегова лінія відповідає вимогам, потрібним для облаштування колектору. Плюсом такого способу є відносна дешевизна [49].

Насос з закритим циклом виготовляються з пластикових труб, вмонтованих горизонтально в землю на глибині 1,2 - 1,5 м. Холодна рідина для передачі тепла циркулює по трубах і таким чином витягує тепло. Цей тип системи використовує тепловий потік, що надходить зверху, що виникає в результаті прямої або непрямої сонячної енергії (сонячна радіація, дощ тощо). На конструкцію впливають не тільки теплові властивості підземного простору, але й експозиція земельної ділянки, де встановлена система, та прилеглої території. Поверхня петлі заземлення не повинна бути ні забудованою, ні герметичною від дощу. Залежно від типу підпілля швидкість відбору тепла коливається в межах 10 - 40 Вт / м².



Рисунок 2.5 - Схема теплообміну закритого способу

Насос з закритим циклом і вертикальним теплообмінником, свердловинні теплообмінники зазвичай виготовляються з пластикових трубок, вставлених у вертикальні або похилі свердловини. Для хорошого теплового контакту між трубою та землею свердловину заґрунтовують спеціальним матеріалом, який додатково затягує її. У Німеччині свердловинні теплообмінники, як правило, менше 100 м через додатковий дозвіл на більш глибокі згідно із законом про видобуток корисних копалин. Це також вимагає ретельної розробки, оскільки недостатній розмір призводить до занадто сильного переохолодження та, ймовірно, замерзання. Це зменшує продуктивність теплового насоса, а глибша частина ВНЕ залишається замерзлою, оскільки недостатньо подається тепла з оточення для повного відновлення [50].



Рисунок 2.6 - Схема теплообміну закритого способу і вертикальним теплообмінником

Загалом конструкція залежить від типу ґрунту. Факторами впливу є теплопровідність та вологість ґрунту, особливо потік ґрунтової води. Тим

часом доступний метод - тест теплової реакції - для визначення на місці теплових властивостей підземних вод та ґрунту [48].

Система VDI 4640 Guideline розрізняє невеликі системи до 30 кВт нагрівальної потужності та більшу. Нижче 30 кВт пропонується таблиця значень та номограма, тоді як для більших систем комп'ютерне моделювання суворо рекомендується.

2.1.2 Повітряні теплові насоси

Тепловий насос повітря-повітря - один з найефективніших електричних приладів HVAC, призначений для опалення та охолодження будинку. Моделі, побудовані як Energy Star, здатні заощадити до 20 відсотків порівняно зі стандартними моделями, зменшити викиди парникових газів і підвищити комфорт. Енерговитрати теплових насосів із джерелом повітря нижчі, ніж газові, масляні системи опалення або геотермальні НР.

Однією з найбільших переваг теплових насосів є те, що у них немає пальників для вироблення тепла, немає димових газів, вогню та диму. Тепло не робиться; його просто переміщують з одного місця на інше - роблячи теплові насоси більш ефективними, одночасно опалюючи приміщення поступово і рівномірно [45].

Прийняти правильне рішення щодо теплового насоса повітря-повітря дуже важливо, оскільки опалення та охолодження будинку залежать від цього, оскільки це велика інвестиція. Незалежно від того, купуєте ви новий або б / у тепловий насос, для ефективного, комфортного та безперебійного опалення та охолодження необхідно враховувати три фактори.

Найкращі теплові насоси - це високоефективні (високі SEER та HSPF), що використовують замість повітропроводів змінні або двошвидкісні спіральні або вдосконалені поршневі компресори, термостатичні розширювальні клапани та ізольовані труби. З іншого боку, нижчі та менш ефективні моделі оснащені одношвидкісними поршковими компресорами [47].

Цикл перетворення низькоякісної теплової енергії у високоякісну енергію можна описати наступним чином. Вентилятор продуває зовнішнє повітря в камеру випарника всередині випарника, холодоагент нагрівається і стає газоподібним. Як газ, холодоагент надходить у компресор і далі нагрівається під високим тиском. Потім холодоагент рухається до конденсатора, де втрачає енергію і повертається у рідкий стан. Отримане тепло використовується для обігріву будинку. Рідкий холодоагент повертається у випарник. Для підвищення ефективності роботи агрегату рекомендується використовувати спеціальний дросельний клапан між конденсатором і випарником. Цей цикл, який називається зворотним принципу Карно, повторюється знову і знову. Для автоматизації процесу в ланцюзі є блок автоматичного управління.

Принцип действия теплового насоса

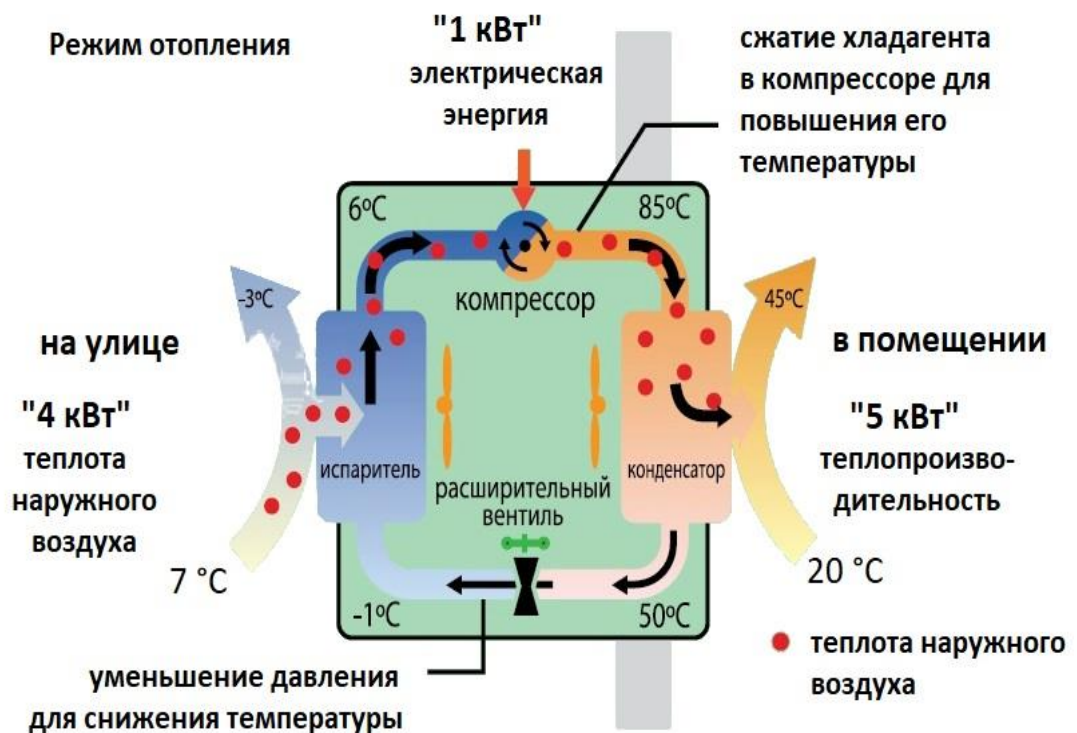


Рисунок 2.7 - Принцип работы теплового насоса «повітря-повітря»

На цій схема наочно продемонстрований принцип роботи теплового насоса «повітря-повітря». Низькопотенційна енергія зовнішнього повітря перетвориться в теплову енергію з високим потенціалом. Щоб ефективно обігріти будинок за допомогою повітря, необхідно виконати три етапи робіт: - забезпечити паркан зовнішнього повітря, необхідного для роботи теплового насоса [32];

- зібрати окремі деталі теплонасоса в єдиний пристрій;
- створити систему повітряного опалення будинку.

Щоб забезпечити приплив зовнішнього повітря, використовується потужний вентилятор. Його можна встановити безпосередньо біля стіни будівлі або на деякій відстані, вибравши підходяще місце у дворі приватного будинку. Рекомендується розміщувати вентилятор на відкритому просторі з хорошою циркуляцією повітряних потоків. Повітря буде надходити всередину будинку по спеціальних трубопроводах. Якщо вентилятор встановлений у дворі, то знадобиться провести два трубопроводи: для забору повітря зовні і для зворотного потоку повітря. Зазвичай труби укладають в траншею, викопану в землі (при цьому їх необхідно утеплити), або ж пускають безпосередньо через стіну.



Рисунок 2.8 - Загальний вигляд зовнішнього блоку теплового насоса системи «повітря-повітря»

Зовнішній блок теплового насоса «повітря-повітря» можна розмістити в потрібному місці з хорошою циркуляцією повітряних потоків: біля стіни будинку або навіть на його даху [31].

Повітряне опалення краще підходить для використання з тепловим насосом, ніж традиційні водяні системи з громіздкими і дорогими радіаторами, оскільки в цьому випадку немає необхідності нагрівати теплоносії до дуже високої температури. Нагріте повітря поширюється в житлових приміщеннях через систему повітропроводів. Це виключає досить значні тепловтрати, які неминучі при транспортуванні гарячої води. Для теплового насоса «повітря-повітря» можна використовувати різні види повітропроводів, найчастіше це надійні конструкції з оцинкованої сталі. Нагріте повітря з теплообмінника поступає у фільтр, а потім - в систему повітропроводів. Одночасно до нього підмішується деяка кількість зовнішнього повітря. Таким чином забезпечується не тільки обігрів приміщення, але і правильний повітрообмін.



Рисунок 2.9 - Канальний вентилятор

Для транспортування теплого повітря знадобиться досить потужний вентилятор. Повітроводи зазвичай прокладають уздовж стін кімнат, а тепле

повітря надходить з припливних решіток, які доцільно розміщувати біля вікон. Крім того, система оснащується термостатами, які дозволяють регулювати обігрів приміщень в автоматичному режимі [29].

Для транспортування гарячого повітря успішно використовуються як жорсткі, так і гнучкі повітроводи. Для жорстких конструкцій знадобляться додаткові відводи, щоб розгорнути напрямок потоку повітря під необхідним кутом (45 або 90 градусів).



Рисунок 2.10 - Конструкція повітроводів

Якщо запланувати монтаж повітряного опалення ще на етапі будівництва будинку, можна приховати повітроводи в стіні або під підвісною стелею. В іншому випадку їх закривають спеціальними декоративними елементами [28].

Найкраще монтувати систему повітроводів ще на етапі будівництва будинку. Тоді їх можна буде вмонтувати прямо в стіни. Якщо рішення прийнято пізніше, повітроводи розміщують уздовж стін і приховують їх декоративними решітками.

2.2 Фізичні процеси при роботі теплового насосу

Коловим процесом (періодом) називається розпад, при якому систематраница, пройшовши через рядок станів, повертається у вихідний лагерь. На діаграмі процесів період зображається замкненою кривою.

Тіло, яке здійснює коловий процес і обмінюється енергією з іншими тілами, називається робочим тілом. Звичайно таким тілом є газ [39].

Цикл, який виконує ідеальний газ, можна розбити на процеси розширення (1-2) і стискання (2-1) газу. Робота розширення, яка визначається площею фігури $l^a2V_2V_1l$, додатна ($dV>0$), робота стискування, що визначається площею фігури $2blV_1V_12$, від'ємна ($dv<0$). Робота, яка виконується газом за циклом:

$$A = \int_{1a}^2 p dV + \int_{2b}^1 p dV = A_{1-2} - A_{2-1}. \quad (2.1)$$

Ця робота визначається заштрихованою площею, що охоплюється кривою $la2bl$.

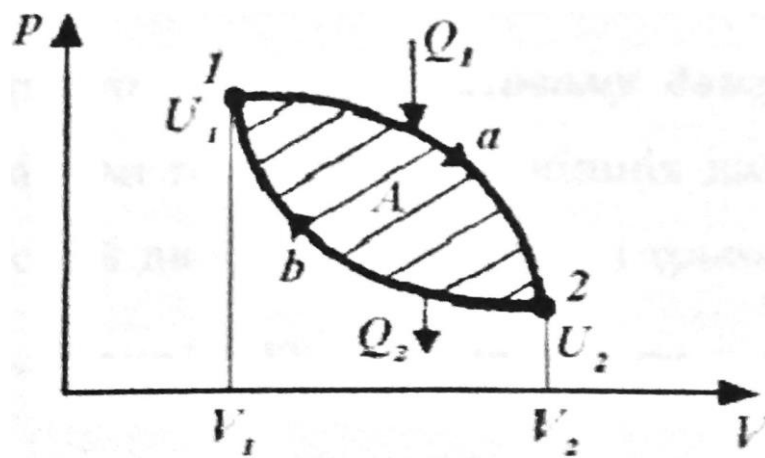


Рисунок 2.11 - Прямий цикл теплової машини Карно

Якщо за цикл виконується додатна робота $A>0$ (цикл виконується за годинниковою стрілкою), то він називається прямим.

При прямому циклі робочому тілу, надається кількість теплоти Q_1 і тіло виконує роботу розширення A_{1-2} . Внутрішня енергія змінюється на величину $\Delta U = U_2 - U_1$, де U_1 і U_2 - внутрішня енергія тіла в стані 1 і 2, відповідно. Потім тіло стискається, над ним виконується робота $A'_{2-1} = -A_{2-1}$, яка менша, ніж A_1 .

$_2$, і від нього забирається кількість теплоти Q_2 , яка менша Q_1 . Внутрішня енергія змінюється на величину $-\Delta U$. Робота стискування виконується за рахунок використання частини роботи виконаної при розширенні робочого тіла, наприклад, за рахунок кінетичної енергії маховика, що почав обертатись при розширенні робочого тіла. За першим законом термодинаміки для процесу розширення $Q_1 = \Delta U + A_{1-2}$, для процесу стискування: $-Q_2 = -\Delta U - A_{2-1}$.

Якщо ці рівняння додати, то отримаємо;

$$Q_1 - Q_2 = A_{1-2} - A_{2-1} = A \quad (2.2)$$

Після закінчення періоду тіло повертається в свій початковий ляд, внутрішня енергія тіла не змінюється. Тому робота циклу може виконуватись лише за рахунок зовніш-ніх джерел, що підводять до тіла теплоту.Прямий період використовується в тепловому двигуні, в якому робоче тіло отримує енергію у формі теплоти від зовнішніх джерел і булю її віддає у формі роботи. Тепловий двигун складається з трьох частин: нагрівник, робоче тіло, холодильник (рис. 59). Від термостата з вищою температурою T_1 , який називається нагрівником, за цикл відбирається кількість теплоти Q_1 , а термостату з нижчою температурою T_2 , який називається холодильником, за цикл передається кількість теплоти Q_2 і виконується робота $A = Q_1 - Q_2$ [40].

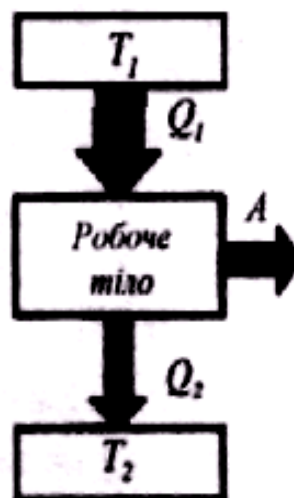


Рисунок 2.12 - Схема роботи теплової машини при прямому циклу

Тепловий двигун характеризується коефіцієнтом корисної дії η , який дорівнює відношенню роботи A , яка виконана тілом за цикл роботи, до кількості теплоти Q_1 , що отримало тіло від нагрівника:

$$\eta = \frac{A}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}. \quad (2.3)$$

Температура газу при його стискуванні повинна бути нижча, ніж при розширенні. Тоді тиск газу у всіх проміжних станах при стиску буде менший, ніж при розширенні, і буде виконано умову $A_{1-2} > A_{2-1}$, необхідну при виконанні двигуном корисної роботи [7].

Якщо здійснити цикл проти годинникової стрілки, то робота буде та сама за абсолютною величиною, але від'ємна. Такий процес називається зворотним.

$$A_I = \int_{1b}^2 p dV + \int_{2a}^1 p dV = - \left[\int_{2b}^1 p dV + \int_{1a}^2 p dV \right] = -A. \quad (2.4)$$

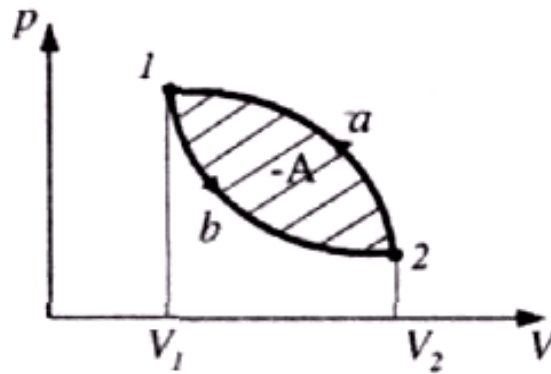


Рисунок 2.13 - Зворотній цикл теплової машини карно

Зворотний цикл використовується в холодильних машинах - періодично діючих установках, в яких за рахунок роботи зовнішніх сил теплота переноситься до тіла з вищою температурою (рис. 2.13).

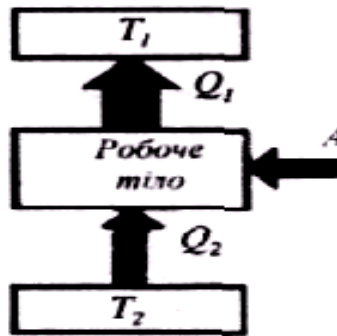


Рисунок 2.14 - Схема роботи теплової машини при прямому циклі

Така машина забирає за цикл від тіла з температурою T_2 , кількість теплоти Q_2 і віддає тілу при температурі T_1 , кількість теплоти Q_1 . Над машиною за цикл повинна бути виконана робота A . Кількість відданої теплоти Q_1 дорівнює сумі отриманої кількості теплоти Q_2 і роботи, яку виконали зовнішні сили:

$$Q_1 = Q_2 + A. \quad (2.5)$$

Отже, чистий результат циклу полягає в тому, що тіло з меншою температурою, від якого забирається певна кількість теплоти, охолоджується, а тіло з вищою температурою, якому віддається теплота, нагрівається.

Ефективність холодильної машини характеризується її холодильним коефіцієнтом, який дорівнює відношенню віднятої кількості теплоти Q_2 до роботи, яка затрачається на приведення машини в роботу:

$$\eta_{х.м} = \frac{Q_2}{A} = \frac{Q_2}{Q_1 - Q_2}. \quad (2.6)$$

Робочим тілом в холодильній машині слугують пари рідин, які легко киплять: аміак, фреон і ін. Енергія підводиться до машини від електричної мережі. За рахунок цієї енергії відбувається перехід теплоти від холодильної камери до більш нагрітого тіла - до навколишнього середовища [36].

Оборотним термодинамічним процесом називається така зміна стану системи, яка, будучи проведена у зворотному напрямку, повертає її в

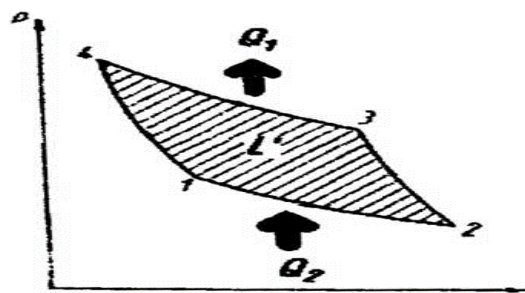
початковий стан так, щоб система пройшла через ті самі проміжні стани, що і у прямому процесі, але у зворотній послідовності, а стан тіл поза системою залишився незмінним.

Необоротним називається процес, коли зворотний перехід через ті самі проміжні стани неможливий.

Будь-який рівноважний процес є оборотним.

Оборотні процеси - це до деякої міри ідеалізація реальних процесів. Всі реальні процеси є необоротними.

З метою наближення до простого циклу Карно, а фактично - з метою створення максимально ефективного в роботі теплового насоса, необхідно прагнути до підводу тепла за умов, близьких до ізотермічних. Для цього підбираються робочі тіла, що змінюють агрегатний стан при необхідних температурах і тиску. Вони поглинають тепло при випаровуванні і віддають при конденсації. Ці процеси утворюють ізотерми циклу. Стиснення пари холодоагента, як правило, вимагає щоб пара була сухою, що обумовлено особливостями механіки більшості компресорів теплових насосів. Попадання рідини разом з паром на вхід компресора може зашкодити його клапани, а надходження великої кількості рідкого холодоагента в компресор теплонасоса може взагалі вивести його з ладу (якщо не прийняті запобіжні заходи). Цикл теплового насоса з механічною компресією пари та його зображення в p - V (тиск - питомий об'єм) діаграмі показані на рисунку 2.14 [30].



1-2 - відбір теплоти від низькотемпературного джерела, холодоагент закипає;

2-3 - процес стиснення хладагента в компресорі; 3-4 - передача теплоти в систему опалення та конденсація холодоагенту в конденсаторі; 4-1 - процес дроселювання рідкого хладагента до початкових умов.

Рисунок 2.15 - Термодинамічний цикл теплового насоса в p - V діаграмі

Розглянемо цикл теплонасоса тільки з сухою компресією пари і розширенням в дросельному клапані. Цей клапан являє собою регульоване сопло або капілярну трубку. Відсутність розширювальної машини в циклі означає, що деяка кількість корисної роботи втрачається і COP теплового насоса зменшується. Як правило, це виправдано тим, що вартість розширювальної машини не окупається отриманою на ній роботою. Процес розширення в соплі незворотній. Зазвичай він розглядається як адіабати тобто проходить без підведення або відведення тепла при розширенні робочого тіла [27].

Тепер продемонструємо цикл теплового насоса іншим способом, за допомогою широко застосовується на практиці для парокомпресійних циклів діаграми тисків - питома ентальпія ($\ln p-h$), представленої на рисунку 2.15.

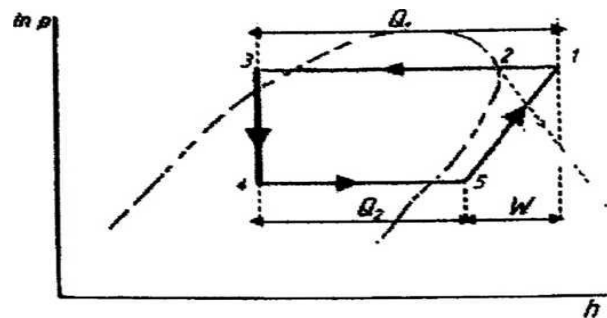


Рисунок 2.16 - Термодинамічний цикл теплового насоса в $\ln p-h$ діаграмі

Стисле робоче тіло під високим тиском залишає компресор в точці 1. Оскільки на вхід в компресор надходила тільки суха пара і завдяки нахилу ліній постійної ентропії, в точці 1 пара перегріта. Перш ніж пара почне конденсуватися в точці 2, її слід охолодити при постійному тиску. Між точками 2 і 3 відбувається конденсація при постійній температурі (якщо немає витоків пари). Звідси видно, що теплообмінний апарат, в якому відбувається конденсація (конденсатор), завжди повинен бути розрахований на прийом перегрітої пари. Адіабатичне розширення зображується в $p-h$ діаграмі вертикальною прямою 3-4, і в цьому одна з причин зручності такої діаграми. Для розрахунку циклу необхідно знати стан робочого тіла тільки на вході в компресор теплового насоса і виході з нього. Останнє зображується прямими лініями. Випаровування відбувається при постійному тиску і температурі між

точками 4 і 5. Слід зазначити, що розширення відбувається фактично в суміші рідини і пари. Вхідна в випарник суміш містить значну частку пари, іноді до 50% за масою, і ця частка робочого тіла, природно, уже не бере участі в процесі випаровування і поглинанні тепла. Між точками 5 і 1 відбувається ізоентропійне стиснення сухої пара. На практиці його реалізувати не можна, але тут розглянуто ідеалізований цикл. Його ефективність менше, ніж у циклу Карно, через незворотності процесу розширення.

Розглянемо ще одну важливу перевагу p - h діаграми. Оскільки на горизонтальній осі відкладається ентальпія, вона допускає прямий відлік Q_1 , Q_2 і W . Тому з діаграми очевидно просте співвідношення $Q_1 = Q_2 + W$. У той же час дана діаграма дозволяє відразу оцінити значення COP. Очевидно, що воно буде тим вище, чим менше інтервал тисків 3-4 (або, що те ж саме, чим менше інтервал температур) [20]. Для отримання високого COP значення Q_1 повинно бути велике, а W (робота стиснення) повинна бути мала. Також при погляді на p - h діаграму будь-якого з холодоагентів можна швидко оцінити його придатність до роботи [26].

Робочі цикли теплового насоса, розглянуті вище, дещо ідеалізовані.

Хоча в них і враховувалися практичні обмеження, пов'язані з необхідністю стиснення тільки сухої пари, а також відсутність розширювальної ма проте передбачалося, що ККД всіх елементів дорівнює 100%. Розглянемо тепер, чим реальний тепловий насос відрізняється від ідеального. Головним компонентом теплового насоса є компресор. Як вже було сказано, компресор повинен стискати тільки сухий пар і робоче тіло до входу в компресор повинно бути дещо перегріте. Перегрів створює зону безпеки для зменшення потрапляння крапель рідини в компресор. Це досягається ціною деякого збільшення компресора, оскільки він повинен стискати більш розріджену пару при тому ж масовому витраті. Більш серйозна проблема полягає в підвищенні температури на виході з компресора, яка обмежується стійкістю вихлопних клапанів [20].

Інше істотне відхилення від ідеалізованого циклу теплового насоса

визначається ККД компресора. Через теплообмін між робочим тілом і компресором і незворотності течії всередині компресора підвищення ентальпії в ньому більше, ніж у ідеалізованому циклі, що також підвищує вихідну температуру. Підчищення ентальпії оцінюється ізоентропічним ККД компресора. На практиці поршневі компресори мають ізоентропійний ККД близько 70%. Зазначимо, що ізоентропійне стиснення вимагає мінімальної роботи при неохолоджуваному компресорі. Роботу можна знизити шляхом його охолодження, але оскільки завданням теплового насоса є віддача тепла при високій температурі, таке охолодження не вигідно або фактично неможливо. Існують ще два показники ефективності компресора в тепловому насосі: механічний ККД (показує, яка частка роботи, підведеної до валу компресора, віддана робочому тілу - зазвичай він дорівнює 95 %) і об'ємний ККД який впливає не на COP, а на капіталовкладення в обладнання, так як визначає розміри компресора (значення також в районі 95 %) [2]. Втрати є і в інших елементах робочого циклу, а не тільки в компресорі. Коли робоче тіло проходить через теплообмінник, тиск дещо падає, наслідком чого є відхилення від ізотермічних умов при теплообміні. Фактично відхилення зазвичай не перевищує 1 градуса. Воно проявляється як у випарнику, так і в конденсаторі.

2.3 Режими роботи , КПТЕ теплового насосу системи «повітря-повітря»

2.3.1 Режими роботи теплових насосів

При впровадженні теплонасосних технологій часто виникають питання по частці покриття тепловим насосом пікового теплового навантаження будівлі. З світового досвіду та практики компанії Прогрес-XXI їх існує декілька. Теплові насоси для опалення приміщень можуть експлуатуватися найрізноманітнішими способами. Залежно від наявності в будівлях чи плануванні встановлення систем віддачі теплової енергії розрізняють такі режими роботи теплонасосних установок [19].

Бівалентно-альтернативний режим - робочий режим, за якого додаткове джерело теплоти (наприклад, газовий котел) розраховується на повне

теплове навантаження системи опалення, якщо температура зовнішнього повітря стає нижче температури точки рівноваги, то тепловий насос вимикається і повне теплове навантаження на себе бере резервне джерело тепла (наприклад, газовий котел).

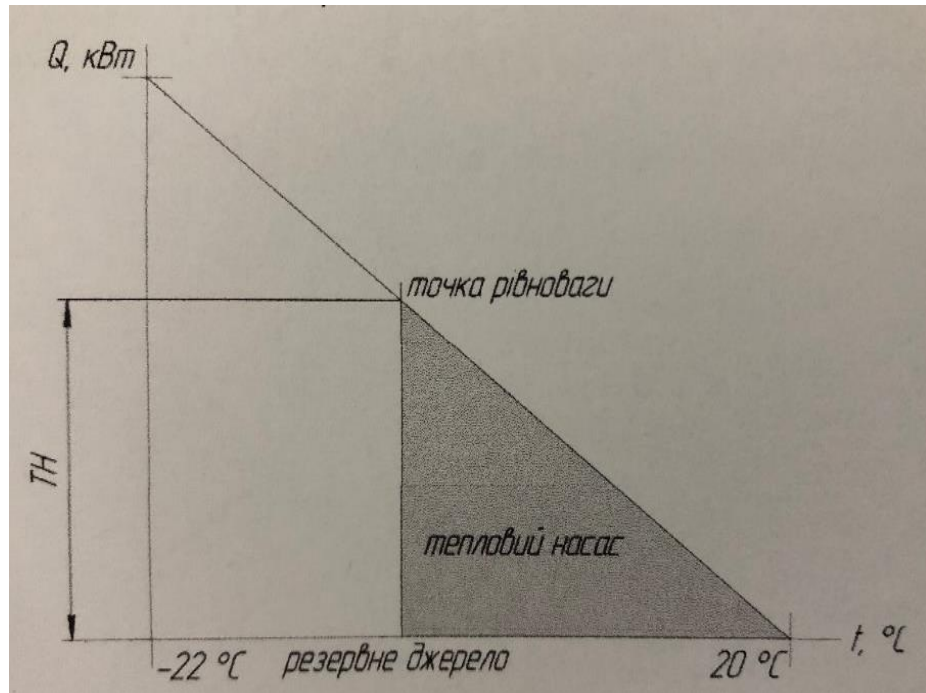


Рисунок 2.17 - Бівалентно-альтернативний режим роботи теплового насоса

Бівалентно-паралельний режим - робочий режим, за якого додаткове джерело теплоти (наприклад, газовий котел) розраховане на залишкове теплове навантаження системи опалення, яке не може задовольнити теплонасос при температурі навколишнього середовища нижче температури точки рівноваги. Якщо температура зовнішнього повітря стає нижчою температури точки рівноваги, то відбувається вмикання газового котла, що буде догрівати теплоносії на виході з теплонасосної системи.

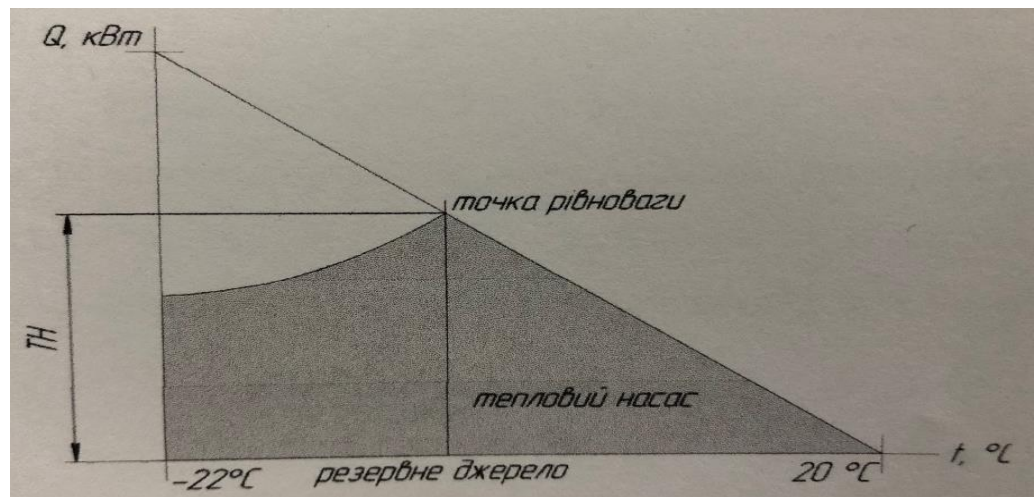


Рисунок 2.18 - Бівалентно-паралельний режим роботи теплового насоса

Моновалентний режим - робочий режим, за якого тепловий насос спроектований на покриття всього теплового навантаження системи опалення як єдине джерело. Оптимальними для моновалентного режиму роботи теплонасосної системи є такі джерела тепла, як ґрунт та ґрунтові води, так як температура цих джерел майже не залежить від зовнішньої температури та постачають достатню кількість тепла навіть при низьких температурах зовнішнього повітря.

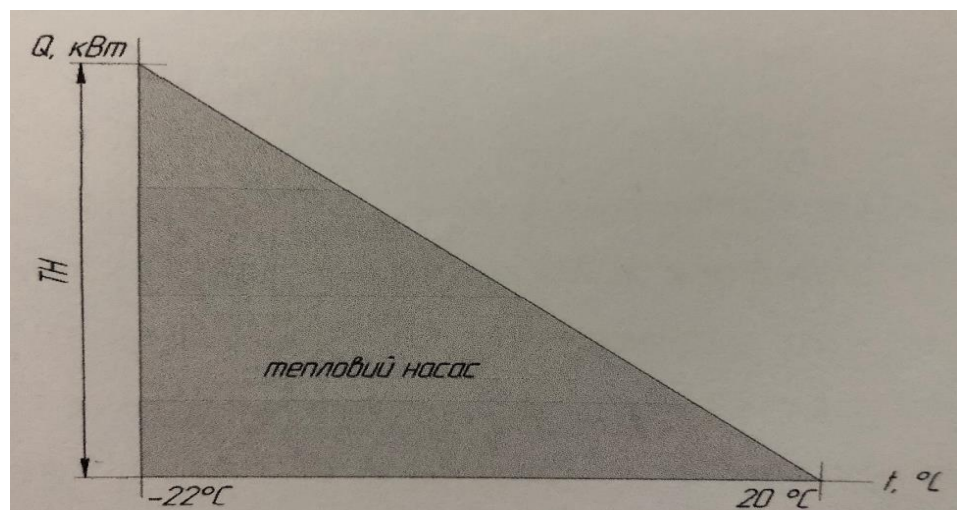


Рисунок 2.19 - Моновалентний режим роботи теплового насоса

Моноенергетичний режим — режим експлуатації системи опалення з використанням теплових насосів полягає у використанні додаткового вбудованого термоелектричного нагрівана (ТЕНа). В ідеальному варіанті

моноенергетичного режиму роботи теплового насоса цей додатковий електричний нагрівач в стані підтримувати як приготування гарячої води, так і опалення. Моноенергетичний режим роботи теплових насосів є одним з найекономічніших різновидів експлуатації, адже дозволяє задавати, під час проектування систем опалення та ГВП, теплонасос меншої потужності, а, як наслідок, менші капітальні затрати в теплонасосну установку та довготривалу роботу в експлуатаційному діапазоні. Але мінусом даного режиму є функціонування залежної системи з потребами в додатковому тепловому обладнанні, а також в якійсь мірі залешається залежність від викопних видів палива [31].

2.3.2 Розрахунок коефіцієнта перетворення (трансформації) COP теплового насоса

Коли в статтях йдеться про коефіцієнт корисної дії (ККД) теплових насосів (ТН) більшому 100%, то перша думка яка відвідує нормальної людини, ще не забув загального курсу фізики, що мова йде про обман - вічний двигун. Давайте спробуємо розібратися [26].

У термодинаміці існує чітке визначення ККД. Відношення кількості теплоти, перетвореної на позитивну роботу за один цикл, до всієї теплоти, підведеної до робочого тіла, називається термічним коефіцієнтом корисної дії (ККД) прямого циклу:

$$K_{пд} = 1 - t_x / T_n. \quad (2.7)$$

де t_x - це температура холодильника;

T_n - температура нагрівана.

У побуті ж користуються поняттям ККД, вважаючи його як відношення корисної роботи (тепла) до витраченої. Якщо мова йде про теплові насоси, то треба розуміти, що тепловий насос не виробляє тепла. Він переносить його з одного місця в інше, і при цьому на перенесення витрачається електрична енергія, яка в кінцевому підсумку вся так само переходить в тепло. Тепловий

насос може переносити до 5кВт тепла, споживаючи всього 1кВт електроенергії.

Сучасні теплові електростанції мають ККД до 40%. Якщо припустити, що на перенесення 5 кВт тепла з повітря витрачається 1кВт електроенергії, а з 5 кВт ми зможемо отримати 2кВт електрики, то чисто теоретично цього буде достатньо для роботи теплового насоса і навіть 1кВт залишиться для зовнішніх споживачів. Але це чисто теоретично. Тому, що тепловий насос виробляє низькотемпературне тепло, а для ефективної роботи ТЕС потрібно високотемпературне + 150С і вище [25].

Таким чином, ми просто перетворили низькотемпературне тепло з повітря в електроенергію. У нашому прикладі 4-х кВт тепла з повітря, отримали теоретично 1кВт електрики для зовнішніх споживачів. *В теплотехніці, в якості основного показника ефективності теплового насоса застосовується коефіцієнт перетворення або опалювальний коефіцієнт COP (coefficient of performance), рівний відношенню теплопродуктивності теплового насоса до потужності, споживаної компресором [24].*

В режимі охолодження для оцінки ефективності застосовується холодильний коефіцієнт EER (energy efficiency ratio), рівний відношенню холодовиробництва теплового насоса до потужності, споживаної компресором.

$$COP = QR / N = (QC + N) / N = EER + 1 = TO / (TK - TO) + 1; \quad (2.8)$$

$$EER = QC / N, \quad (2.9)$$

де QR - енергія, що віддається нагрівачем;

QC - тепла енергія, відбирається у холодильника;

N - затрачена електроенергія;

TK і TO — температури конденсації і кипіння в тепловому насосі.

2.4 Вибір хлороагенту для теплонасосних установок

До теперішнього часу переважна більшість робочих тіл, які

використовуються в холодильних машинах, є фреони. Найбільш поширеними серед них є R12, R22, R114, R502 та деякі інші [20].

Але, згідно з протоколом Монреальської міжнародної конференції 1987 р. ці холодоагенти були визнані озonoактивними і підлягають заміні як екологічно небезпечні. Серед хладонів, які випускає вітчизняна промисловість, найбільш придатними зараз вважаються R410A, R22 і R142, а також неазеотропна суміш із R22 і R142, що за властивостями має наближатись до властивостей R12. До речі, R11, R12, R113 і R114 є найбільш озonoактивними, а склад зазначеної суміші ще не визначений. Слід додати, що фреонам хоча і властиві мала токсичність і вибухонебезпечність, але вони використовуються переважно для побутових холодильних машин і ТНУ невеликих потужностей. Зараз він застосовується переважно в насосно-циркуляційних системах охолодження [23].

Висновки до розділу 2

1. Найдоцільнішим альтернативним джерелом опалення для невеликих житлових приміщень виявився тепловий насос системи «повітря-повітря», оскільки являється найбільш ефективним і найменш витратним;

2. Тепловий насос не виробляє теплову енергію, а транспортує її, перетворюючи з низькотемпературної у високотемпературну;

3. Для максимально ефективної роботи теплового насоса потрібно прагнути до умов, близьких до ізотермічних. Для цього підбирають робочі тіла, що змінюють агрегатний стан при необхідних температурах і тиску;

4. Показником ефективності теплового насоса застосовується коефіцієнт перетворення теплової енергії (COP), рівний відношенню теплопродуктивності теплового насоса до потужності, споживаної компресором.

3 МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ТА МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ ТЕПЛОВОГО НАСОСА «ПОВІТРЯ-ПОВІТРЯ»

3.1 Матиматична модель процесу теплообміну теплового насоса

Робочі речовини, які застосовуються в теплових насосах та теплосилових установках, що перетворюють низькопотенційне тепло, характеризуються низькою температурою кипіння. До таких речовин відносяться, наприклад, аміак, фреони, деякі важкі вуглеводні та ін. Зміна їх стану відбувається згідно з законами для реальних газів. Тому для розробки моделей формування режимів роботи теплонасосних та теплосилових установок необхідно вибрати рівняння стану та моделі розрахунку термодинамічних параметрів їх робочих речовин.

Існують різні методи розрахунку процесів у форсункових камерах [15, 22-26]. Аналіз цих методів показує, що найбільш універсальним і прийнятним для розрахунку у випадку як нагріву, так і охолодження води, є метод, розроблений Є.І. Андрєєвим [26].

Метод базується на використанні аналогії протікання в контактних апаратах процесів тепло- і масообміну (аналогії зміни рушійних сил цих процесів), що математично відображається рівністю коефіцієнтів відносної інтенсивності теплообміну Δt і масообміну Δd :

$$\Delta t = \Delta d. \quad (3.1)$$

Ці коефіцієнти визначаються відносинами середніх за процес рушійних сил до максимальних. При цьому процес теплообміну розглядається стосовно до пограничного шару насиченого, а масообміну - до шару ненасиченого газу. За рушійні сили переносу тепла і маси прийняті середні арифметичні температурний Δt_{tm} і концентраційний Δd_t напори, визначувані за формулами:

$$\Delta t_{tm} = \frac{t_{1m} + t_{2m}}{2} - \frac{t_{pid1} + t_{pid2}}{2} \quad (3.2)$$

$$\Delta d_{TM} = \frac{d_{1M} + d_{2M}}{2} - \frac{d_1 + d_2}{2} \quad (3.3)$$

де t_{1M} і t_{2M} - початкова і кінцева температури газу за мокрим термометром, °C;

t_{pid1} і t_{pid2} - початкова і кінцева температура рідини, °C;

d_{1M} і d_{2M} - вологовміст насиченого газу при температурах відповідно t_{1M} і t_{2M} ;

d_1 і d_2 — початковий і кінцевий вологовміст газу.

Значення максимальних рушійних сил визначаються за формулами:

$$\Delta t_{0M} = t_{pid1} - t_{1M}; \quad (3.4)$$

$$\Delta d_0 = d_{1M} - d_1. \quad (3.5)$$

Таким чином,

$$\Delta t = \frac{\Delta t_{TM}}{\Delta t_{0M}}; \quad (3.6)$$

$$\Delta d = \frac{\Delta d_T}{\Delta d_0}. \quad (3.7)$$

Іншим важливим положенням методу є критеріальне рівняння, що встановлює зв'язок між коефіцієнтом інтенсивності тепломасообміну K_m (визначуваним критерієм) з основними визначальними критеріями, за які прийняті число Рейнольдса Re і критерій подібності теплових еквівалентів рідини і газу Bm . Для форсунок камер це рівняння має вигляд

$$K_m = 8,85 Re^{-0,29} Bm^{-0,77}. \quad (3.8)$$

Коефіцієнт інтенсивності тепломасообміну є відношення:

$$K_m = \frac{t_{pid1} - t_{2M}}{t_{pid1} - t_{1M}}. \quad (3.9)$$

Розрахувавши за критеріальним рівнянням (3.9) значення K_m , можна за відомими початковими параметрами взаємодіючих середовищ визначити кінцеву температуру газу за мокрим термометром:

$$t_{2м} = t_{рід1} - (t_{рід1} - t_{1м})K_m. \quad (3.10)$$

При визначенні числа Рейнольдса за характерний розмір прийнятий діаметр форсунки d_ϕ , а за характерну швидкість — швидкість витікання рідини з форсунки w_ϕ . Оскільки на відносну швидкість руху краплі в реактивному просторі камери в'язкість рідини практично не впливає, за в'язкість у формулі для визначення числа Re використовується в'язкість газу $\nu_{г1}$ при його початковій температурі $t_{г1}$:

$$Re = \frac{w_\phi d_\phi}{\nu_{г1}} = \frac{4G_\phi}{\pi \rho_{рід} \nu_{г1} d_\phi}. \quad (3.11)$$

де G_ϕ - витрата рідини через форсунку, кг/с;

$\rho_{рід}$ - густина рідини, кг/м³.

За фізичним значенням число B_{m1} є відношенням теплового еквівалента системи "газ - рідина" до теплового еквівалента одного з агентів (газу)

$$B_{m1} = \frac{G_{рід} c_{рід} + G_{г} c_{г}}{G_{г} c_{г}}. \quad (3.12)$$

де $G_{рід}$ і $G_{г}$ - масові витрати рідини і газу в апараті, кг/с;

$c_{рід}$ і $c_{г}$ - теплоємність рідини і газу, Дж/(кг°С).

При практичних розрахунках критерій B_{m1} обчислюється при початковій температурі газу за мокрим термометром $t_{1м}$. В цьому випадку

$$c_{г\text{ вг}} = c_{г\text{ ст}} + c_{рп} d_{1м}; \quad (3.12)$$

$$\frac{\Delta d_{гм}}{\Delta t_{гм}} = \lim_{\substack{t_{2м} \rightarrow t_{1м} \\ d_{2м} \rightarrow d_{1м}}} \frac{\Delta d_{гм}}{\Delta t_{гм}} \approx \frac{\Delta d_R}{\Delta t_R}. \quad (3.13)$$

де $\Delta t_R = t_{1мR} - t_{1м} = 1^\circ\text{C}$ - розрахункова різниця температур;

$\Delta d_R = d_{1мR} - d_{1м}$ - розрахункова різниця вологовмістів насиченого газу, відповідних температурам $t_{1мR}$ і $t_{1м}$.

Коефіцієнт випаровування Ke , відношення теплових еквівалентів рідини і вологого газу B_w та коефіцієнт зрошування B визначаються за формулами:

$$Ke = \frac{r_0 d_R}{c_{p \text{ вг}} \Delta t_R}; \quad (3.14)$$

$$B_w = \frac{G_{\text{рід}} c_{\text{рід}}}{G_{\text{г}} c_{p \text{ вг}}} = B \frac{c_{\text{рід}}}{c_{p \text{ вг}}}; \quad (3.15)$$

$$B = \frac{G_{\text{рід}}}{G_{\text{г}}}. \quad (3.16)$$

Критерій подібності теплових еквівалентів рідини і газу

$$B_w = \frac{B_w}{1 + Ke} + 1. \quad (3.17)$$

3.2 Математична модель формування теплового режиму роботи теплонасосної установки

Задачу визначення теплового режиму роботи тепло насосної установки розв'язуємо у наступній постановці. Відомими є:

1. Температура t_0 і відносна вологість ϕ_0 атмосферного повітря;
2. Температура t_1 і відносна вологість ϕ_1 вихідного повітря;
3. Витрата повітря V_M , що надходить, підсоси повітря будівлі $\Delta V_{\text{вент}}$ та до свіжого $\Delta V_{\text{св}}$;
4. Параметри режиму роботи вентилятора (депресія $r_{\text{вент}}$, ККД $\eta_{\text{вент}}$ при подачі $V_{\text{вент}}$);
5. Кількість та конструктивні параметри форсункових камер;
6. Витрата води G_w в проміжному циркуляційному контурі між системами камер на вихідному та свіжому струменях.

Під витратами V_M , $V_{\text{вент}}$, $\Delta V_{\text{св}}$, $\Delta V_{\text{вент}}$ розуміються об'ємні витрати, приведені до нормальних умов (тиску 0,101325 МПа, температури 273,15 К). Витрата вихідного повітря на вході в форсункові камери визначається подачею вентилятора і складається з повітря, що видається, V_M , та підсосів $\Delta V_{\text{вент}}$, тобто:

$$V_{\text{вент}} = V_M + \Delta V_{\text{вент}} \quad (3.18)$$

Аналогічно, витрата свіжого повітря, що подається, $\Delta V_{\text{вент.м}}$, складається з повітря $V_{\text{св}}$, що проходить через форсункові камери, встановлені на свіжому струмені, та підсосів $V_{\text{св}}$, у зв'язку з чим

$$V_{\text{св}} = V_{\text{ш}} - V_{\text{св}} \quad (3.19)$$

Температура і вологовміст повітря вихідного потоку перед вентилятором (після змішування з підсосами атмосферного повітря) визначаються за формулами:

$$\Delta t_{\text{см вх}} = \frac{V_{\text{ш}} t_1 + \Delta V_{\text{вент}} t_0}{V_{\text{вент}}}; \quad (3.20)$$

$$\Delta d_{\text{см вх}} = \frac{V_{\text{ш}} d_1 + \Delta V_{\text{вент}} d_0}{V_{\text{вент}}}. \quad (3.21)$$

Температура і вологовміст свіжого повітря, що подається (після змішування з підсосами)

$$\Delta t_{\text{ш}} = \frac{V_{\text{св}} t_{\text{св}} + \Delta V_{\text{св}} t_0}{V_{\text{ш}}}; \quad (3.22)$$

$$\Delta d_{\text{см вх}} = \frac{V_{\text{ш}} d_1 + \Delta V_{\text{вент}} d_0}{V_{\text{вент}}}. \quad (3.23)$$

де $d_0, d_1, d_{\text{св}}$ - вологовміст атмосферного повітря, вихідного повітря перед змішуванням з підсосами, свіжого повітря на виході з форсункових камер;

$t_{\text{св}}$ - температура свіжого повітря, нагрітого в форсункових камерах.

Приріст температури повітря на вентиляторі визначається за формулою

$$\Delta t_{\text{вент}} = \frac{\rho_{\text{вент}}}{n_{\text{вент}} \rho_0 c_p}. \quad (3.24)$$

Температура і вологовміст вихідного повітря на виході вентилятора

$$t_{\text{вент}} = t_{\text{см вих}} + \Delta t_{\text{вент}}; \quad (3.25)$$

$$d_{\text{вент}} = d_{\text{см вих}}. \quad (3.26)$$

Температура води, циркулюючої між камерами, встановленими на вихідному та свіжому струменях, буде залежати від витрат середовищ і конструктивних параметрів камер. Якщо знехтувати зміною температури води в трубопроводах між камерами, можна записати функціональну залежність кінцевої температури води від початкової

$$t_{\text{pid2}} = f_1(t_{\text{pid1}} A_{\text{вих}}); \quad (3.27)$$

$$t_{\text{pid1}} = f_2(t_{\text{pid2}} A_{\text{св}}); \quad (3.28)$$

де t_{pid1} - температура води на вході в камери, встановлені на вихідному струмені (виході з камер, встановлених на свіжому струмені) °C;

t_{pid2} - температура води на виході з камер, встановлених на вихідному струмені (вході в камери, встановлені на свіжому струмені) °C;

$A_{\text{вих}}$ і $A_{\text{св}}$ - вектори параметрів, що визначають умови протікання процесів тепломасообміну в камерах, встановлених на вихідному і свіжому струменях.

У результаті сумісного рішення рівнянь (3.27) і (3.28) визначаються температури t_{pid1} , t_{pid2} й інші параметри, що характеризують режим роботи системи камер форсунок: кінцеві температура і вологість підігрівального повітря та нагрівного повітря а також теплова потужність теплоутилізаційної установки.

У 3В язку з нелінійністю рівнянь (3.27) і (3.28) їх розв'язок проводиться чисельним методом. Розрахунок реалізовано у вигляді комп'ютерної програми, складеної на мові Object Pascal в системі програмування Delphi 6. [13]

3.3 Програма підбору теплових насосів

RETScreen є провідним у світі програмним забезпеченням, призначеним для аналізу і прийняття рішень по проектах екологічно чистої енергії. Воно надається урядом Канади безкоштовно, оскільки Канада визнає необхідність інтегрованого підходу у вирішенні проблем, пов'язаних зі змінами клімату і

зниженням рівня забруднення навколишнього середовища. RETScreen - це визнаний помічник при розробці проектів по екологічно чистій енергії. RETScreen значно знижує витрати (пов'язані як з фінансами, так і з часом), що вимагаються при визначенні та оцінці потенціальних енергетичних проектів. Ці витрати, що виникають на стадіях попередньої оцінки технічної здійсненності проекту, техніко-економічного аналізу, інженерно-технічних робіт, можуть стати суттєвою перешкодою для застосування технологій з використанням відновлюваної енергії та енергозберігаючих технологій. Допмагаючи подолати ці перешкоди, RETScreen дозволяє знизити витрати, пов'язані з підготовкою проектів і веденням бізнесу в області екологічно чистій енергії. RETScreen дозволяє керівникам і професіоналам визначити фінансову придатність пропонованих проектів з використання відновлюваної енергії, енергозберігаючих проектів або проектів по когенерації. Завдяки RETScreen користувачі по всьому світу змогли безпосередньо заощадити більше 7 млрд. доларів, і очікується, що ця цифра зросте до 13 млрд. до 2020 року. Оскільки RETScreen сприяє здійсненню проектів з екологічно чистій енергії, програма вносить свій внесок у значне зниження викидів парникових газів, яке, за скромними підрахунками, складе щонайменше 30 мільйонів тонн на рік до 2022 року. Очікується, що до 2025 року з використанням RETScreen буде вироблено щонайменше 50 ГВт з усієї екологічно чистій енергії по всьому світі на загальну вартість близько 61 млрд. доларів [52].

Програмне забезпечення і дані RETScreen - це самий універсальний продукт такого роду, що дозволи рам, архітекторам та спеціалістам з фінансового планування моделювати і аналізувати будь-який проект по екологічно чистій енергії. Люди, відповідальні за прийняття рішень, можуть виконувати п'ятиетапний стандартний аналіз, включаючи енергоаналіз, аналіз собівартості, емісійний аналіз, фінансовий аналіз, а також аналіз ризиків і чутливості системи. Проектні моделі RETScreen розробляються на основі всеосяжних технологій і включають як традиційні, так і нетрадиційні джерела чистої енергії, а також загальноприйняті джерела енергії та технології.

Прикладами таких проектних моделей можуть бути: раціональне використання енергії (від великих промислових об'єктів до окремих будинків), опалення та охолодження (наприклад, біомаси, теплові насоси та повітряне та водяне опалення за допомогою сонячної енергії), енергія (включаючи поновлювані джерела, такі як сонячна, вітрова, хвильова, гідро- і геотермальна енергія, а також загальноприйняті технології, такі як газові і парові турбіни і поршневі двигуни) і комбіноване виробництво теплової та електричної енергії (або когенерація).

3.4 Розрахунку теплового насосу для житлового будинку

Для раціонального вибору потужності теплового насосу потрібно розрахувати теплові витрати на опалення будинку, а також на його гаряче водопостачання. Тип будівлі вибирається стандартно, з дотриманням норм та стандартів. На якість розрахунку впливають кліматичні умови, а також особливості місцевості. Житловий будинок знаходиться в місті Києві. Загальна площа 150 м². Відповідно до цього був зроблений аналіз та проведені розрахунки з дотриманням всіх норм.

3.4.1 Розрахунок теплового навантаження на опалення

Для даних розрахунків був взятий реальний будинок з площею 150 м². Даний алгоритм розрахунку можна використовувати при будь якій площі, це буде лише впливати на подальший вибір самого устаткування.



Рисунок 3.1 - Будинок для розрахунку теплового навантаження

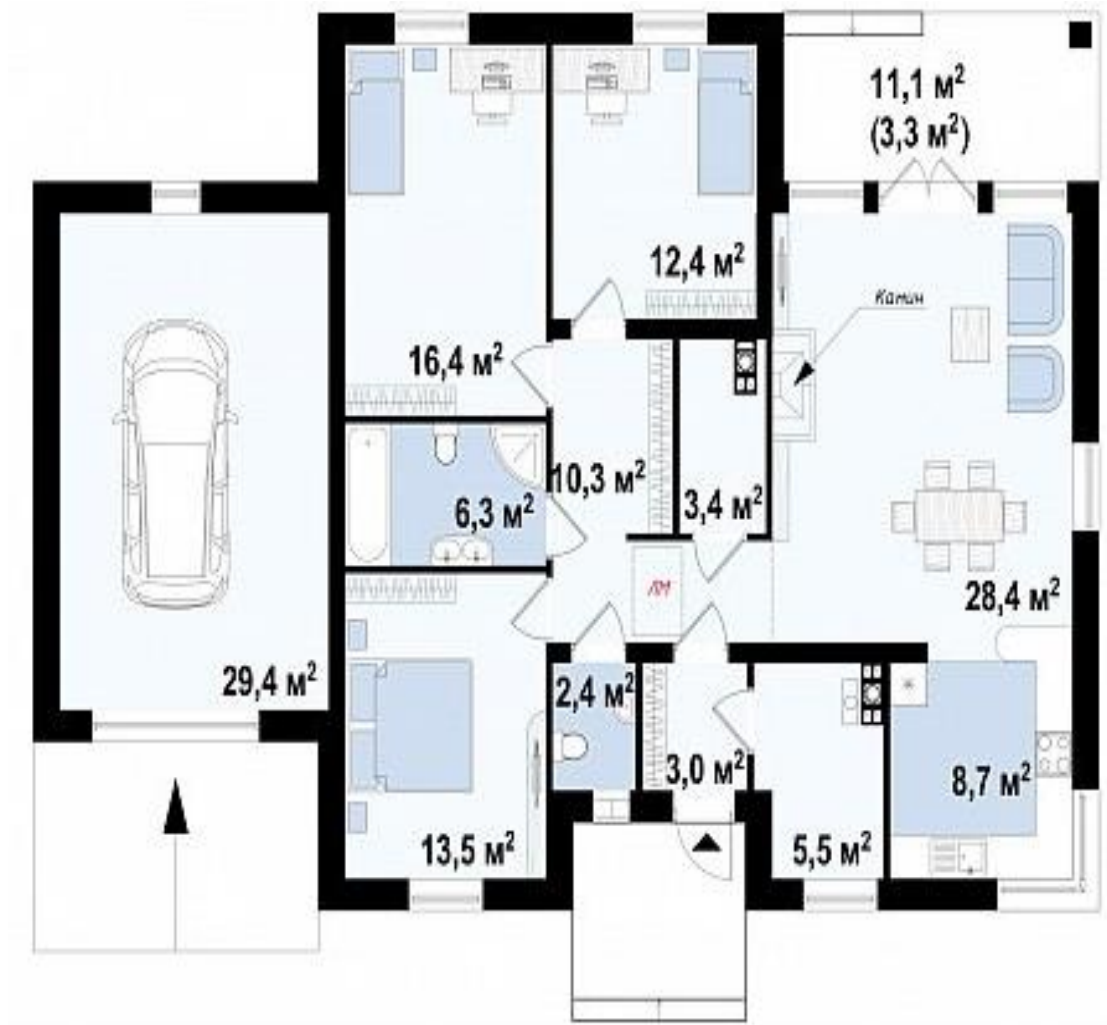


Рисунок 3.2 - План будинку

Вхідні дані до розрахунку:

- кількість поверхів – 1;
- висота вікон – $H_{\text{вік}} = 1,5$ м;
- теплова мережа – 150×70 °С;
- місто – Київ;
- довжина - 15 м;
- ширина – 10 м;
- висота – 7,0 м;
- схема будинку наведені на рис. 3.1.

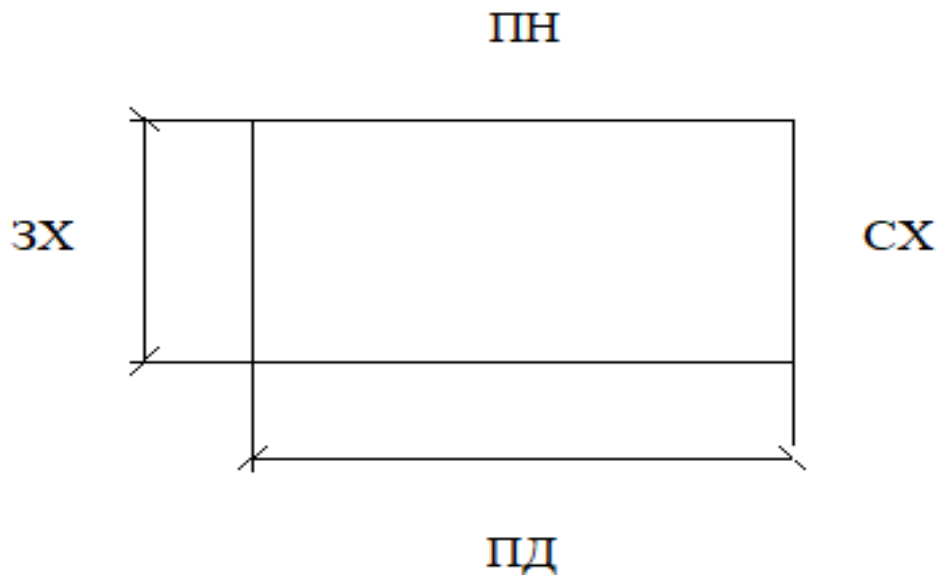


Рисунок 3.3 - Схема будинку

Характеристика стін – цегляні з повітряним прошарком на важкому розчині, товщина $\delta_1 = 565$ мм (товщина прошарку $\delta_0 = 50$ мм) .

Характеристика перекриття – з горищем, збірні залізобетонні панелі товщиною 160 мм; утеплювач – шлак товщиною $\delta = 200$ мм.

Характеристика засклення – подвійне в дерев'яних сполучених рамах.

Розрахункова температура внутрішнього повітря $t_{\text{вн}} = 20$ °С [29].

Кліматологічні дані для м. Києва

- тривалість опалювального періоду – $n_o = 176$ діб;
- температура зовнішнього повітря у холодний період року;
- розрахункова для опалення – $t_{\text{ро}} = -22$ °С;
- середня опалювального періоду – $t_n^{\text{cp.o}} = -0,1$ °С.

Теплові втрати приміщеннями житлового будинку, кВт, розраховуються для холодного періоду року за формулою 3.29:

$$Q_{\text{втр}} = \Sigma Q_{\text{осн.}} + Q_{\text{дод.}}, \quad (3.29)$$

де $\Sigma Q_{\text{осн.}}$ – сумарні втрати теплоти через зовнішні огорожувальні конструкції (зовнішні стіни, вікна, зовнішні двері, перекриття для останнього поверху, підлогу для першого поверху), кВт;

$Q_{\text{дод.}}$ – додаткові втрати (орієнтація приміщення за сторонами світу, інфільтрація зовнішнього повітря, дві та більше кутові зовнішні стіни), кВт.

Втрати теплоти через зовнішні огорожувальні конструкції, кВт, розраховуються для кожного елемента за формулою 3.30 .

$$Q_{\text{осн}} = \sum_{i=1}^m k_i F_i (t_{\text{вн}} - t_{\text{р.о.}}) n_i, \quad (3.30)$$

де k_i – коефіцієнт теплопередачі зовнішніх конструкцій, $\text{Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{К})$;

F_i – площа поверхні окремих зовнішніх конструкцій, м^2 ;

$t_{\text{вн}}$ – температура повітря в середині приміщення, $^{\circ}\text{C}$;

$t_{\text{р.о.}}$ – розрахункова температура зовнішнього повітря на опалення, $^{\circ}\text{C}$;

n_i – коефіцієнт, за яким враховують зниження різниці температур, залежить від положення поверхні огорожувальної конструкції.

Якщо висота приміщення перевищує 4 м, то його потрібно розділити на дві частини по висоті і розрахувати теплові втрати для кожної частини окремо, причому для зовнішньої конструкції висотою до 4 м розрахункова різниця температур буде така сама, як і у формулі, а для зовнішніх конструкцій, розміщених вище 4 м від підлоги, розрахункова різниця температур:

$$\Delta t = \frac{t_{\text{вн}} + t_{\text{зв}}}{2} - t_{\text{р.о.}}, \quad ^{\circ}\text{C}, \quad (3.31)$$

де $t_{\text{зв}}$ – температура повітря зверху приміщення, $^{\circ}\text{C}$.

$$t_{\text{зв}} = t_{\text{вн}} + k(H_n - 4), \quad ^{\circ}\text{C}, \quad (3.32)$$

де k – коефіцієнт зростання температури по висоті, значення якого можна взяти від 0,2 до 1,5 $^{\circ}\text{C}/\text{м}$;

H_{Π} – висота приміщення, м.

Визначаємо зовнішні розміри огорожень:

$$A_{\text{сз}} = a_1 + 2\delta_1 = 15 + 2 \cdot 0,615 = 17,06 \text{ м};$$

$$A_{\text{пп}} = b_1 + 2\delta_1 = 10 + 2 \cdot 0,615 = 11,23 \text{ м}.$$

Визначаємо висоту зовнішніх стін

$$H_{\text{ст1}} = 7,0 \text{ м};$$

$$H_{\text{ст2}} = (H_{\Pi} - 4) + \delta_2 + \delta; \quad (3.33)$$

$$H_{\text{ст2}} = (7,0 - 4) + 0,160 + 0,200 = 3,36 \text{ м}.$$

Визначаємо коефіцієнти теплопередачі зовнішніх стін, перекриття, заповнень світлових отворів відповідно:

$$- K_{\text{ст}} = 1,07 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К});$$

$$- K_{\Pi} = 0,88 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К});$$

$$- K_{\text{вік}} = 2,94 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

Визначаємо поверхню вікон, за формолою:

$$F_{\text{вік}} = H_{\text{вік}} C n_{\text{вік}}, \quad (3.34)$$

де $n_{\text{вік}}$ – кількість вікон;

C – ширина вікон, м,

- для стін, орієнтованих на захід та схід, перший поверх

$$F_{\text{вік1}} = 1,5 \cdot 2 \cdot 2 = 6 \text{ м}^2;$$

- для стін, орієнтованих на південь та північ, перший поверх

$$F_{\text{вік2}} = 1,5 \cdot 2 \cdot 3 = 9 \text{ м}^2;$$

Визначаємо поверхні зовнішніх стін за формолою;

$$F_1 = A_{\Pi} \cdot H_{\text{ст}} - F_{\text{вік}}, \quad (3.35)$$

- для стіни, орієнтованої на північ та південь, перший поверх

$$F_1 = 17,06 \cdot 3.36 - 6 = 51,32 \text{ м}^2;$$

- для стіни, орієнтованої на схід та захід, перший поверх

$$F_2 = 11,23 \cdot 3.36 - 9 = 28,73 \text{ м}^2;$$

Визначаємо площу перекриття, за формолою;

$$F_{\text{пер}} = (a_1 + 0,5\delta_1) (b_1 + 0,5\delta_1), \quad (3.36)$$

$$F_{\text{пер}} = (15 + 0,5 \cdot 0,615) (10 + 0,5 \cdot 0,615) = 15.95 \text{ м}^2.$$

Розрахункова різниця температур

- при висоті приміщення $H_{\Pi} \leq 4$ м різниця температур, $^{\circ}\text{C}$

$$\Delta t_1 = t_{\text{вн}} - t_{\text{р.о}},$$

$$\Delta t_1 = 20 - (-22) = 42 \text{ }^{\circ}\text{C};$$

- при висоті приміщення $H_{\Pi} > 4$ м різниця температур по формулам

$$t_{\text{зг}} = 22 + 0,7(25 - 4) = 36,7 \text{ }^{\circ}\text{C};$$

$$\Delta t_2 = \frac{22 + 36,7}{2} - (-23) = 52,3 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Визначення теплових втрат через підлогу

Для визначення теплових втрат підлогу поділяють на чотири секції показані на рис. 3.4..

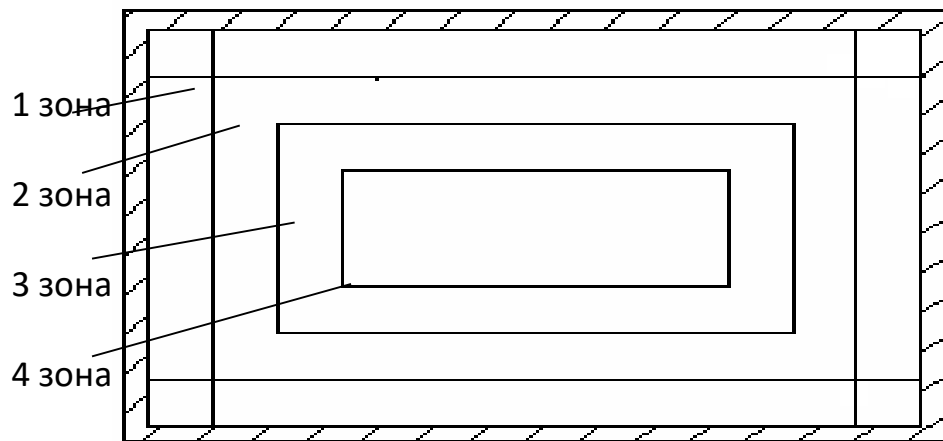


Рисунок 3.4 - Поділ площі підлоги на зони

За умовою розміри підлоги 15×10 м, відповідно площі зон:

$$F_1 = 37.5;$$

$$F_2 = 25.0;$$

$$F_3 = 12.5;$$

$$F_4 = 75.0.$$

Термічні опори теплопередачі окремих зон неутепленої підлоги складають [22]:

- для першої зони - $r_1 = 2,15 \text{ (м}^2 \cdot \text{K) / Вт ;}$
- для другої зони - $r_2 = 4,3 \text{ (м}^2 \cdot \text{K) / Вт ;}$
- для третьої зони - $r_3 = 8,6 \text{ (м}^2 \cdot \text{K) / Вт ;}$
- для четвертої зони - $r_4 = 14,2 \text{ (м}^2 \cdot \text{K) / Вт .}$

Теплові втрати для підлоги розраховуються окремо до кожної зони відповідно, за формулою:

$$Q = \frac{F_i}{r_i \cdot 1000} \cdot \Delta t_1, \text{ кВт}, \quad (3.37)$$

$$Q_1 = \frac{37.5}{2.15 \cdot 1000} \cdot 42 = 0,73 \text{ кВт};$$

Витрати теплоти на нагрівання інфільтраційного повітря враховують тільки для вікон та дверей в розмірі 15% від основних теплових втрат:

$$Q_{\text{інф}} = (1,15 + 1,15 + 0,77 + 0,77 + 0,44) * 0,15 = 0,642 \text{ кВт.}$$

Сумарні теплові втрати приміщенням, кВт, розраховуються за формулою (3.29).

$$Q_{\text{втр}} = \Sigma Q_{\text{обг.і}} + Q_{\text{інф}} = 11,82 + 0,642 = 12,462 \text{ кВт.}$$

3.2 Визначення теплових навантажень на гаряче водопостачання

Середня витрата теплоти за опалювальний період

$$Q_{\text{с.г}}^{\text{ср}} = M_{\text{с.г}} K_{\text{т.п}} c_{\text{в}} (t_{\text{с}} - t_{\text{х}}), \quad (3.38)$$

де $K_{\text{т.п.}}$ – коефіцієнт, який враховує втрати теплоти від трубопроводів;

$c_{\text{в}}$ – теплоємність води;

$$c_{\text{в}} = 4,187 \text{ кДж/(кг·К)}.$$

$$M_{\text{с.г}} = \frac{m \cdot b}{24 \cdot 3600}, \quad (3.39)$$

де m – кількість людей, які користуються гарячою водою, $m = 6$ чол.;

b – норма витрати гарячої води на людину для житлового приміщення.

$$b = 115 \text{ л/добу [6]},$$

$$M_{\text{г.в}} = \frac{6 * 115 * 1000}{24 * 3600 * 1000} = 0,008 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$$

$$Q_{\text{г.в}}^{\text{ср}} = 0,008 * 1,2 * 4,187 * (55 - 5) = 2 \text{ кВт}$$

Максимальна витрата теплоти:

$$Q_{\text{г.в.}}^{\text{max}} = Q_{\text{г.в.}}^{\text{ср}} \cdot \chi_{\text{г}} \cdot \chi_{\text{д}}, \quad (3.40)$$

χ_r – коефіцієнт добової нерівномірності, $\chi_r = 1,1$;

χ_d – коефіцієнт місячної нерівномірності, $\chi_d = 1,2$,

$$Q_{Г.В}^{\max} = 2 * 1,1 * 1,2 = 2,6 \text{ кВт}$$

Середня витрата теплоти за літній період:

$$Q_{г.в}^{ср.л} = Q_{г.в}^{ср} \frac{t_г - t_{х.л}}{t_г - t_х} \cdot \beta, \quad (3.41)$$

де $t_{х.л}$ – температура холодної води влітку, $t_{х.л} = 15^\circ\text{C}$;

β – зниження витрат гарячого водопостачання в літній період, для м. Києва $\beta = 0,8$;

$t_г = 55^\circ\text{C}$ – температура гарячої води;

$t_х = 5^\circ\text{C}$ – температура холодної води,

$$Q_{Г.В}^{ср.л} = 2 \frac{55-15}{55-5} * 0,8 = 1,28 \text{ кВт}.$$

3.4.2 Моделювання графіку навантаження запропонованої системи програмою RETScreen

Даний аналітичний засіб включає в себе повністю інтегровані бази даних продуктів, гідрологічної і кліматичної інформації (останнє включає дані 6700 наземних станцій плюс дані з супутників NASA, повністю охоплюють територію планети), а також посилання на карти енергетичних ресурсів усього світу. Крім того, щоб допомогти користувачам швидко розпочати аналіз, програма RETScreen розпорядженні розширеної базою типових шаблонів проектів з екологічно чистої енергії. Це єдиний інструмент, який допомагає провести такий поглиблений аналіз [1].

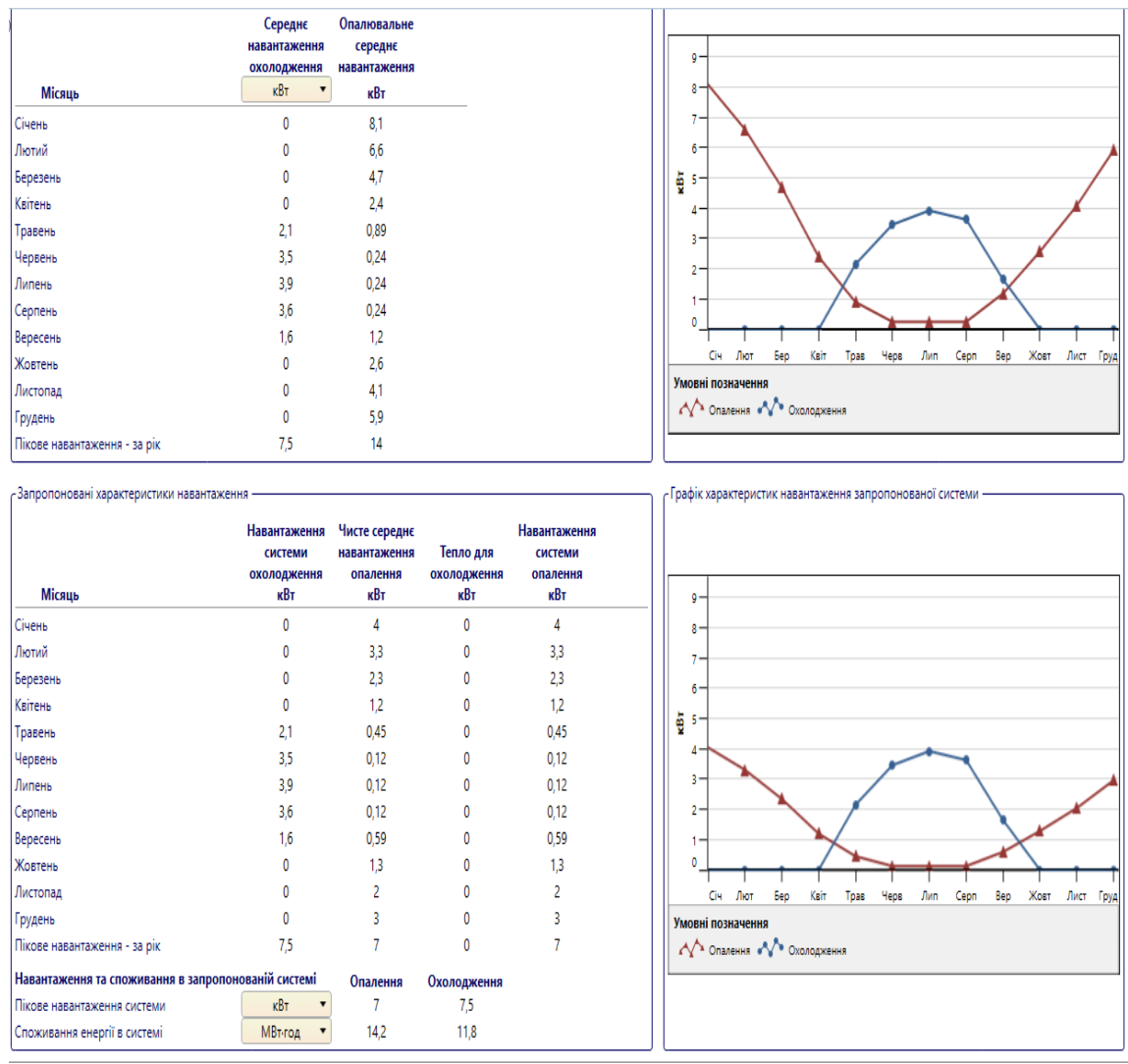


Рисунок 3.5 - Вивід результатів програмою RETScreen

Дана програма включає в себе різні типи моделювань, масу інформаційних джерел в реальному часі а також моніторингову систему змін у всьому світі, а саме:

- численні приклади, включаючи завдання, відпрацьовані рішення та інформацію про те, як проекти використовувалися в реальних ситуаціях;
- електронний підручник, який містить детальний опис алгоритмів, використаних у моделях;
- алгоритм побудови енергоефективних систем
- карта реальних кліматичних змін
- моніторинг викидів, та скидів
- Юридичний комплект для проектів з екологічно чистої енергії,

включаючи приклади юридичних документів;

Розробка RETScreen є прикладом успішного міжнародного співробітництва. Програмне забезпечення RETScreen розроблено і обслуговується урядом Канади за допомогою дослідницького центру Міністерства природних ресурсів CanmetENERGY в місті Вареннес, Квебек, і підтримується міжнародною мережею експертів, що працюють в індустрії, уряді та наукових організаціях. У число головних партнерів входить NASA (Національне управління з аеронавтики і космонавтиці), REEEP (Партнерство з питань відновлюваної енергії та джерел енергії та ефективності використання електроенергії), UNEP (Програма ООН із захисту навколишнього середовища) і GEF (Глобальний екологічний фонд) [32].



Рисунок 3.6 - Графік навантажень базової системи RETScreen

3.5 Алгоритм розрахунку теплового насосу

На сьогодні існують компанії які займаються встановлення та модернізацією опалення, яке працює на базі комбінованого теплового насосу. Основним пунктами підбору теплонасосної установки як правило є площа обігріву, мінімальна температура роботи та сама її потужність. Це є великою помилкою адже в більшості випадках ставляться за потужні системи, або на

оборот. Тому мною був розроблений алгоритм розрахунку теплового насосу, він є вірний так як дані в програмному забезпеченні і дані розраховані мною майже збігаються, похибка лише 3%, яка є допустимою [31].

При виборі теплового насоса повітря-повітря потрібно враховувати та розраховувати такі параметри:

1. COP. Чим вище його значення, тим більш економічний агрегат.
2. Потужність. Важливо досягти різниці між максимальною продуктивністю і споживанням.
3. Окупність. Час, за яке ви повернете вкладені кошти за рахунок економії на енергоресурсах.
4. Різні показники температури вхідної води в залежності від сезону (взимку водопровідна вода значно холодніше).
5. Вода, нагріта для побутових потреб, перебуває в баку і поступово остигає, якщо вона не використовується, її необхідно догріває до заданої температури.
6. Для обчислення потужності необхідно значення обсягу будівлі.
7. Для визначення температури важливо знати пікові значення температур, так користуватися кліматичними картами вашого регіону.
8. Розрахувати тепловтрати вашого будинку.
9. Вирішити чи це оновна система опалення та гарячого водопостачання чи допоміжна.

Дані параметри являються основними для алгоритму прорахунку вибору ТН.

Даний алгоритм розроблений для мінімізації коштів на проектування даної системи, в не залежності від площі на яку теплонасосна система моделюється.

В світі існує безліч програм для підбору, більшість з них не є економічно оправданими так як в основу алгоритму покладено площу, температуру роботи і тип самої установки, за рахунок цього збільшуються економічні витрати і не оправданість даних систем.

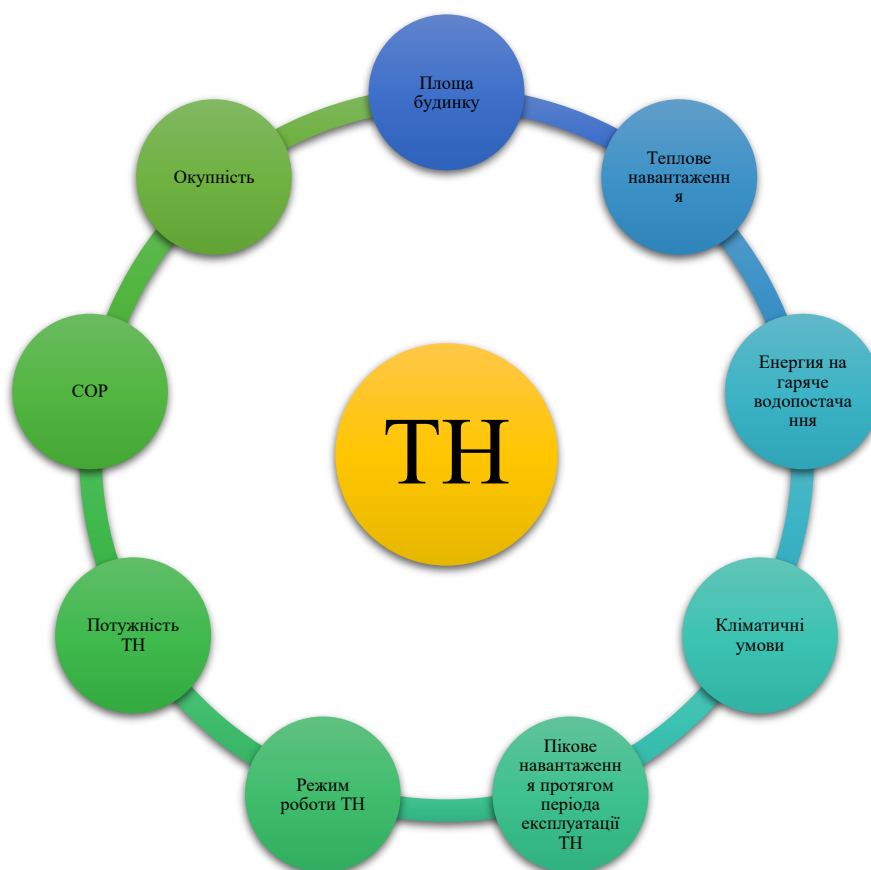


Рисунок 3.7 - Елементи алгоритму підбору ТН

Виходячи з даних пунктів нами був проведений аналіз та запропоновано технологічне оснащення будинку, тепловим насосом.

3.6 Аналіз розрахунку теплового насоса

Був впроваджені розрахунки, що до тепловтрат житлового будинку в м. Києві. Даний будинок був виконаний з дотримання всіх норм та правил з використанням матеріалів високої якості та теплоізоляційними властивостями.

Після проведення розрахунків тепловтрати досягають рівня 15 кВт при температурі -22 С. . У зв'язку з тим що дані тепловтрати будуть приблизно в 10-15% днів під час опалювального сезону, остальний період по тепловтратах залишається на рівні 9-12 кв. При виборі обладнання був зроблений акцент на максимальні тепловтрати, це забезпечить безпривне опалення та гаряче водопостачання при самих суворих кліматичних умовах.

Обладнання яке було підібране може виробляти 17,0 кВт тепла та гарячого водопостачання в ціло.

Як що порівняти з нормальними кліматичними умовами , тепловтрат та продуктивності то ми можемо бачити що 40% це корисна енергія яка йде на запас енергозбереження будинку. Даний вид обладнання є найкращим на сьогоднішній день в теплопостачанні житлових будинків.

Результати розрахунків теплових навантажень приведені в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Результати розрахунків теплових навантажень

Навантаження	Позначення	Величина, кВт
1 Витрата теплоти на опалення	Q_o	12,462
2 Витрата теплоти на гаряче водопостачання		
- за опалювальний період	$Q_{\text{г.в.}}^{\text{сп}^*}$	2,0
- максимальна	$(Q_{\text{г.в.}}^{\text{max}})$	2,6
- за літній період	$(Q_{\text{г.в.}}^{\text{сп.л.}})^*$	1,28
Сумарна витрата	Q_{Σ}	15,062

3.7 Система теплопостачання житлової будівлі на базі теплового насосу Hitachi Yutaki S Combi RAS- 3WHVNP

Теплові насоси Yutaki S COMBI - це компактне рішення, яке ідеально підходить для використання в котеджах і замських будинках, здатне забезпечити стабільну роботу в режимі опалення при Температурі зовнішнього повітря до -25 ° С. Yutaki S Combi можна використовувати в якості джерела

тепла для теплої підлоги, радіаторів та конвекторів. Вони здатні вирішити завдання опалення цілого будинку при цьому дуже прості в установці і сервісному обслуговуванні. Це рішення дуже популярно серед будівельних компаній з огляду на його високу енергетичну ефективність і забезпечуваному рівнем комфорту. Устаткування має спеціальну функцію просушування статі (стяжки), яка дозволить швидше завершити будівельні роботи. Так само можлива робота в режимі кондиціонування [24].

Таблиця 3.3 - Технічні характеристики Hitachi Yutaki S Combi RAS-3WHVNP

Бренд	Hitachi
Виробник	Іспанія
Споживання електроенергії, кВт	1.96
С.О.Р.	5,25
Діапазон робочих температур	-25...+46°C
Рівень шуму, dB	30/59
Холодоагент	R410A
Теплова потужність, кВт	12.5
Електричний водонагрівач	6 кВт
Вага внутрішнього блоку	45 кг
Вага зовнішнього блоку	113 кг
Розмір внутрішнього блоку	790x288x505 мм
Розмір зовнішнього блоку	1123x400x1195 мм
Тип теплового насосу	повітря-вода
Охолодження, кВт	7.5 кВт
Тип компресора	інверторний

Принципова функціональна схема представлена на рис. 3.8 .

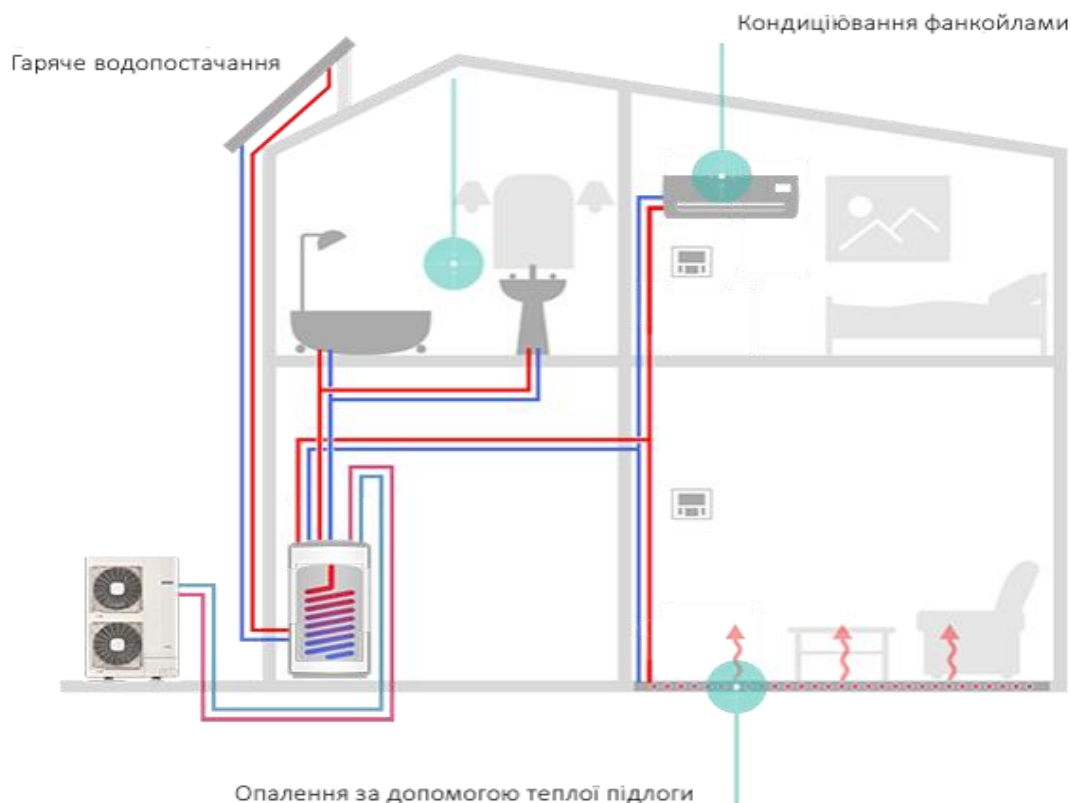


Рисунок 3.8 - Принципова функціональна схема

3.8 План установки теплового насоса в будинок

Тепловий насос комбінованого типу буде використовуватись круглий рік в сезон опалення та в сезон кондиціювання, та на всьому етапі нагрівання води. Для зменшення пікової навантажки було доцільно взяти додаткову систему нагріву тен, який за пікових навантажень візьме на себе роль нагрівача води, це забезпечить стабільну роботу без пікових скачків напруги.

Модель підключення теплового насоса зображено на схемі підключення і функціонування. Функціонал можна розширювати за допомогою підключення сонячних батарей, геліосистеми або сонячного колектора. Всі дані опції можливі, та економічно оправдані .

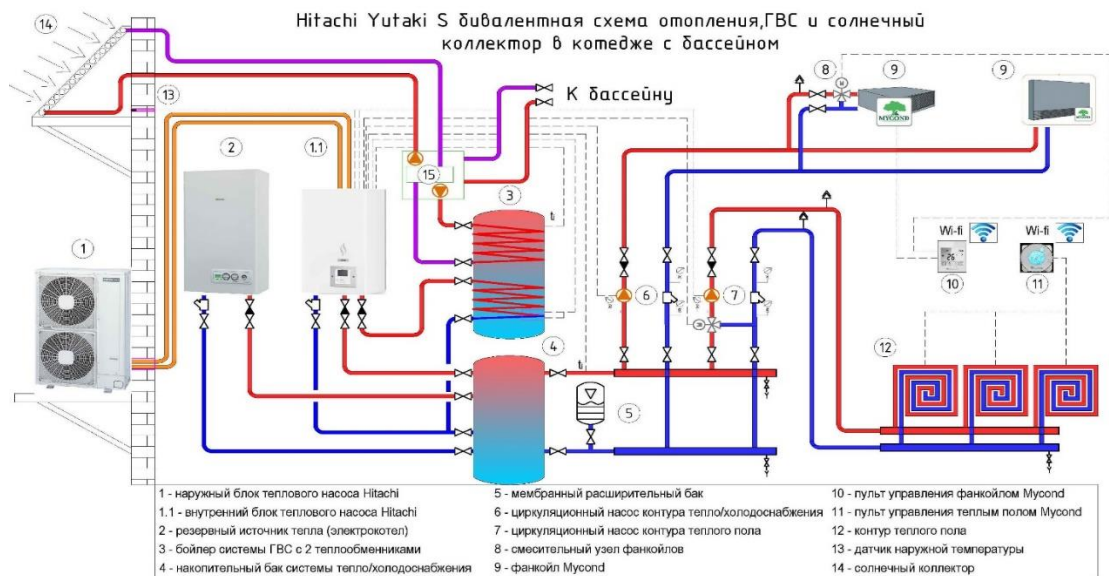


Рисунок 3.9 - Бівалентна схема опалення житлового будинку

Висновки до розділу 3

1. Основним програмним забезпеченням по підбору теплових насосів являється компютерна програма RETScreen (Канада). Своїми можливостями дозволяє:

- порівняти навантаження і температуру, спроектувати навантаження і точки рівноваги;
- згенерувати температурні інтервали;
- розрахувати теплове навантаження будівлі в кожному інтервалі.

2. Тепловий насос є надійним, високоефективним, безпечним та екологічним джерелом відновлюваної енергії для використання у системах опалення та гарячого водопостачання.

3. Ефективність теплового насоса типу «повітря — повітря» значною мірою залежить від температури зовнішнього повітря. На ефективність теплового насоса суттєвий вплив має температура, на яку розрахована система опалення. При зміні зовнішньої температури від $+15^{\circ}\text{C}$ до -25°C COP змінюється від 2,6 до 5,84 [51].

4. Найбільш ефективними для сумісної роботи з ТН є низькотемпературні системи опалення: тепла підлога, теплі стіни і т ін..

4 РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЕКТУ ВПРОВАДЖЕННЯ РАЦІОНАЛЬНОГО РЕЖИМУ ОПАЛЕННЯ ТА ГАРЯЧОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ ЖИТЛОВИХ ПРИМІЩЕННЯ НА БАЗІ КОМБІНОВАНИХ ТЕПЛОВИХ НАСОСІВ

4.1 Обґрунтування актуальності та новизна інноваційної ідеї стартап-проекту

Ідеєю для стартапу є створення компанії, яка буде працювати в сфері енергоаудиту, надавати рішення по використанню скидних та альтернативних джерел енергії, розробкою моделі поводження утилізації теплоти вентиляційних викидів, а також стічних вод з використанням теплонасосних установок. Напрямок розвитку та діяльності передусім буде енергоаудит, розробка проектної документації, розробка нових методів монтажних планів та створення умов для переобладнання, або комбінування існуючих систем опалення, співпраця з імпортерами та виробниками кліматичного обладнання та підрядною компанією з монтажу та експлуатації установок.

Основними споживачами являються багатoproфільні підприємства в різних сферах діяльності, організації, що планують оновлювати і осучаснювати існуючі опалювальні системи) та багатосторонні платформи (державні підприємства та забудови; підприємства теплопостачання та виробництва електроенергії). Велику долю забере на себе приватний сектор, і це є позитивним фактор для розвитку.

Конкурентною перевагою є те, що в Україні діють загальні екологічні норми, які використовуються в Європейському союзі. Також енергоефективні методи аналізу і реконструкції існуючих систем заохочуються з боку держави.

Також значною перевагою проекту в порівнянні з конкурентними аналогами є використання в розробці та проектуванні передових міжнародних досягнень та технологій, які, на жаль, не набули широкого розповсюдження в пост радянському просторі, але широко використовується в розвинених країнах західної півкулі.

4.2 Модель стартап-проекту

У табл. 4.1 подані основні напрями та позиції, з яких створюється модельного стартап-проекту. Кожен напрямок окремо розглядається у подальших пунктах даного розділу.

Таблиця 4.1 - Модель стартап-проекту

КЛЮЧОВІ ПАРТНЕРИ	КЛЮЧОВІ ВИДИ ДІЯЛЬНОСТІ	ЦІННІСНІ ПРОПОЗИЦІЇ	ВЗАЄМОВІДНОСИНИ ЗІ СПОЖИВАЧАМИ	СПОЖИВЧІ СЕГМЕНТИ
Ключовими партнерами є підприємства виробники обладнання та проектні організації, конкуруючі та неконкуруючі підприємства, що залучені до паливно-енергетичного сектору а також безпосередні споживачі.	Запровадження інноваційної конструкторської проектної документації; налагодження ринкових відносин з виробниками; впровадження утилізаційних рішень в існуючі системи теплопостачання для підвищення енергетичної та екологічної ефективності роботи; впровадження енергоефективних методів аналізу; монтажні роботи	Комфорт та легкість управління системою; скорочення витрати на системи теплопостачання; задоволення потреби теплопостачання і об'єктів за рахунок використання «скидних» видів теплоти; встановлення економічно виправданого підґрунтя для застосування теплових насосів іншими підприємствами .	Кожен споживчий сегмент очікує стабільності у постачанні продукції та її високої якості. Разом з цим споживачі розраховують на надійність, прибутковість та екологічність запропонованої технології.	Підприємства і підрядні організації, що проводять монтажно-будівельні роботи; підприємства виробники обладнання; офіційні дилери обладнання з-за кордону; державні підприємства та забудови; підприємства теплопостачання та виробництва електроенергії; особи, що бажають встановити індивідуальну теплонасосну систему теплопостачання.
			КАНАЛИ ЗБУТУ Канали збуту нульового рівня, тобто послуги з розроблення готових рішень надаються безпосередньо підприємствам-виробникам обладнання	
КЛЮЧОВІ РЕСУРСИ Близькість від основних транспортних вузлів та інженерних мереж, використання вторинних енергетичних ресурсів, стабільність ціни на продукцію та її висока якість.				
СТРУКТУРА ВИТРАТ			ПОТОКИ НАДХОДЖЕННЯ ДОХОДІВ	
Бізнес модель передбачає інвестиційні та виробничі витрати, з яких витрати на заробітню плату є найбільш дорогим ключовим ресурсом. Найбільших затрат серед ключових видів діяльності вимагають маркетингові затрати на рекламу.			У проекті генеруються позитивні потоки доходів (NPV= 5621> 0). Індекс рентабельності інвестицій в проект є привабливим і складає ROI = 4,83 >1.	

4.3 Організація проекту

Ціль даного проекту лежить у створенні компанії, що буде виконувати енергоаудит та надавати готові проектні рішення з енергоефективності та екологічної чистоти систем тепlopостачання. Також, за необхідності компанія буде безпосередньо співпрацювати з виробниками обладнання та підрядними організаціями з монтажу та експлуатації систем опалення, гарячого водопостачання та вентиляції.

Напрямок діяльності створюваної компанії - створення готових рішень з тепlopостачання з використанням альтернативних джерел енергії та наближення існуючих систем до роботи «без відходів»; співпраця та заключення договорів з виробником та монтажно-експлуатаційними організаціями.

Для реалізації проекту планується оренда офісного приміщення, в якому буде працювати команда спеціалістів, також планується закупівля вимірювальних приладів різних типів.

Діяльність компанії заснована на інноваційних технологічних схемах тепlopостачання з використанням «скидних» джерел теплоти, що були розроблені, проаналізовані та реалізовані засновниками компанії; інноваційному підході до рішення питань енергозбереження - використання ексергетичних принципів аналізу існуючих систем та проектування нових.

Також слід відзначити, що діяльність компанії заснована насамперед на наукових дослідженнях різних схем тепlopостачання для різних об'єктів з використанням додаткових джерел теплоти, які раніше скидалися в навколишнє середовище у вигляді стоків або вентиляційних викидів відносно високого термодинамічного потенціалу. Необхідно надалі працювати в науковому напрямку задля пошуку шляхів вдосконалення розроблених інноваційних схем. В подальшому планується заснування науково-дослідного відділу компанії, з окремим фінансуванням, для розробки стендів та інших експериментальних установок.

Проект буде являти собою компанію з надання послуг, що буде стартап

проектом, через низький рівень кваліфікації аналогічних компаній в Україні, та використання ними застарілих методів аналізу існуючих систем теплопостачання. Також в Україні одиниці компаній пропонують комплексні рішення, які передбачають проектування всієї системи теплопостачання в цілому, та використання додаткових «скидних» джерел теплоти.

4.4 Ключові види діяльності проекту

1. Вид проекту за характером інновації:

- дослідно-конструкторська робота - розробка та впровадження конструкторської проектної документації та готових рішень з питань енергоефективних схем теплопостачання;
- запровадження нової технології - створення та впровадження інноваційних схем теплопостачання, в яких використано «скидну» теплоту систем гарячого водопостачання та вентиляції для покриття затрат енергії на теплопостачання; використання ексергетичного методу термодинамічного аналізу, який наразі не використовується в Україні;
- організаційні інновації - впровадження шаблону співпраці з замовником, що передбачає надання послуг від першого спілкування з замовником до встановлення і реалізації спроектованих компанією рішень; співпраця колективу компанії в напрямку розробки наукових інноваційних рішень, під яку виділяється окреме фінансування;
- створення готових проектів для будівельних компаній, монтажних організацій приватних та державних структур;
- створення моделей зниження екологічного навантаження під час використання альтернативних джерел опалення, та побудова моделі теплового навантаження;
- інше - проект використовує енергоефективні методи вдосконалення існуючих схем теплопостачання, що покращує як енергетичну так і екологічну складову ефективності існуючих систем. Такі рішення заохочуються та частково фінансуються державою. В проекті також

впроваджується використання теплонасосних технологій та поширення ексергетичного методу аналізу систем, що вказує на конкретні дії по підвищенню ефективності.

2. Спрямованість проекту:

- оновлення вітчизняної технологічної бази (впровадження утилізаційних рішень в існуючі системи теплопостачання для підвищення енергетичної та екологічної ефективності роботи);
- економія енергоресурсів (впровадження методів ексергетичного аналізу існуючих систем дозволить економити кошти на теплопостачання об'єктів застосування інноваційних схем з утилізації умовно безкоштовної теплоти стічних вод приведе до зниження витрати первинних енергоресурсів) поліпшення стану навколишнього середовища (впровадження використання теплонасосних систем теплопостачання дозволить знизити викиди шкідливих речовин, що виділяються при спалюванні палив).

3. Висновок щодо науково-технічного рівня ідеї:

- в розвинутих країнах світу використання ексергетичного аналізу є основним напрямком роботи з вдосконалення та реконструкції існуючих систем теплопостачання. Також застосування теплових насосів у промисловості набуло високого значення серед європейських країн, особливо країн Скандинавії. Використання теплоти додаткових джерел застосовується лише окремих випадках на світовому ринку);
- використання ексергетичного аналізу дозволить знизити витрати на системи теплопостачання);

Основні процеси, що входять до стартап-проекту, наведено в табл. 4.2.

Таблиця 4.2 - Основні процеси стартап-проекту

Група процесів	Процес	Ступінь опрацювання процесу	
		є реалізованим	буде
Розробка продукції	Розробка і конструювання продукції		+
	Розробка і конструювання процесу	+	
	Технологічна підготовка виробництва		+
Вимоги споживачів	Дослідження розвитку ринку	+	
	Організація маркетингу і продажів		+
Виконання замовлень	Забезпечення і матеріально-технічний збут		+
	Планування і управління виробництвом		+
	Виробництво продукції		+
Обслуговування споживача	Післяпродажне обслуговування		+
	Повернення продукції		+

4.5 Ціннісні пропозиції та споживачі

Для впровадження в життя даної ідеї стартап-проекту, потрібно розуміти, що в реаліях сьогодення ціна грає важливу роль при виборі клієнта системи опалення. Тому потрібно детально розглянути зміст ідеї, а також провести аналіз ринку в залежності від цінової політики та купівельної спроможності приватного та державного сектору, це забезпечить мінімізувати ризики провалу даної ідеї, так як правильно підібраний ринок є одним з ключових пунктів успішності.

Зміст ідеї стартап-проекту подано у вигляді табл. 4.3.

Таблиця 4.3 - Зміст ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Сегменти споживачів	Цінність для споживачів
Створення компанії з надання послуг енергоаудиту та розроблення комплексних рішень з використанням ексергетичних методів аналізу систем теплопостачання	1.Впровадження утилізаційних рішень в існуючі системи теплопостачання для підвищення енергетичної та екологічної ефективності роботи	Багатoproфільне підприємство; кінцевий споживач; виробники обладнання	Збільшення об'ємів виробництва екологічно чистої енергії за рахунок впровадження - утилізаційних рішень в господарський сегмент енергетики
	2. Впровадження методів енергетичного аналізу існуючих систем дозволить економити кошти на теплопостачання об'єктів застосування інноваційних схем з утилізації умовно безкоштовної теплоти стічних вод приведе до зниження витрати первинних	Багатосторонні платформи; кінцеві споживачі; виробники обладнання	Використання ексергетичного аналізу вказує на недоліки системи з термодинамічної точки зору та суттєво скоротить витрати на системи теплопостачання
	3.Впровадження використання теплонасосних схем теплопостачання з використанням додаткових джерел теплоти, які раніше скидались в навколишнє середовище	Багатосторонні платформи; кінцеві споживачі; виробники обладнання	Одним із напрямів розвитку даного стартап-проекту є задоволення потреб у теплопостачанні об'єктів за рахунок використання «скидних» видів теплоти

Характер формування споживчої цінності проекту:

- покращення задоволення існуючих потреб (використання теплонасосних технологій суттєво покращить комфорт та легкість управління системою кінцевим споживачем);
- здешевлення задоволення існуючих потреб (використання ексергетичного аналізу вказує на недоліки системи з термодинамічної точки зору та суттєво скоротить витрати на системи теплопостачання);
- формування та задоволення нових потреб (одним із напрямів розвитку даного стартап- проекту є задоволення потреб у теплопостачанні

об'єктів за рахунок використання «скидних» видів теплоти).

Аналіз ідеї стартап-проекту наводиться в табл. 4.4.

Таблиця 4.4 - Аналіз ідеї стартап-проекту

Техніко-економічні характеристики ідеї	Продукція конкурентів			W (слабка сторона)	N (нейтральна сторона)	S (сильна сторона)
	Мій проект	Кон. ТОВ «ВентБаза р»	Аналог (ТОВ «Євротрейдинг»)			
Розташування	Близьке	Близьке (далеко від виробництва)	Близьке	-	-	Відсутність проблем з транспортуванням
Екологічність систем	Висока	Висока	Середня	-	-	Застосування альтернативних джерел енергії
Використання вторинних енергоресурсів	+	-	-	Для досягнення ефекту необхідний значний об'єм ВЕР	-	Зменшення витрат на систему теплопостачання
Якість	Висока	Середня	Середня	-	-	Вища
Ціна	26700 грн/м ³ оп. об'єму *рік	52000 грн/м ³ оп. об'єму *рік	35200 грн/м ³ оп. об'єму *рік	-	-	Ціна нижча за таку ж в аналогах
Доля ринку	10% (визначено за попереднім аналізом)	15%	35%	На етапі становлення доля ринку буде низькою	-	-

Як що дивитися на дану картину яка вимальовується із аналізу моделі, можна сказати, що ринок є доволі великий, плюси які дають можливість для розвитку, являють собою зовсім інший підхід для створення автономних систем опалення в різних секторах нашої економіки, важливий акцент і робиться на житловий сектор в якому за останні 10 років відбувся великий занепад, в сфері теплопостачання. Тому наступним етапом буде розгляд технологічної ідеї стартап-проекту.

Технологічний аудит ідеї стартап-проекту наведений в табл. 4.5.

Таблиця 4.5 - Технологічний аудит ідеї стартап-проекту

Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
Виконання комплексних рішень	Енергоаудит об'єкта в цілому, врахування всіх переваг та недоліків структури системи	Технології пунктів 1-3 розроблені конкретно для даної компанії	Розроблена; є інтелектуальною власністю компанії
Співпраця з замовником «від 'а' до 'я'»	Супровід та створення умов для замовника, в яких забезпечується мінімальна його участь в процесах реалізації готових рішень		
Використання ексергетичних методів аналізу	Маючи дані енергоаудиту використовуються технології комплексного ексергетичного аналізу установок та систем, що є розробкою компанії		
Утилізація теплоти стічних вод	Теплота стічних вод буде повертатись в систему теплопостачання за допомогою теплонасосних технологій	Технологія є наявною та вже широко використовується в провідних країнах світу	Доступна

Обрана технологія реалізації ідеї проекту: методи, що будуть використані в проекті будуть реалізовані за рахунок технологій, розроблених для конкретних випадків. Дана технологія є доступною через розробку її всередині компанії.

Під час аналізу технологічної ідеї, було зроблено акцент на утилізацію теплоти стічних вод. Даний фактор дає змогу задуматись над створенням систем опалення на базі теплових насосів для котеджних містечок з кількістю будинків близька до 100. Система каналізаційних стоків як правило в таких приватних секторах є закритого типу, що дає змогу підключати геотермальні теплові насоси та трансформувати вже готове тепло в приватні будинки. Це дає змогу отримати мінімальні енергозатрати та повну автономність від систем які працюють на викопному палеві, а це в свою чергу зменшення навантаження на навколишнє середовища та покращення екологічної ситуацію.

Для більш детального розуміння ми також проаналізуємо всі можливі сторони проекту.

Аналіз сильних та слабких сторін, а також можливостей і загроз, стартап-проекту зведено в табл. 4.6.

Таблиця 4.6 - SWOT-аналіз стартап-проекту

Сильні сторони (S): • Відсутність проблем з транспортуванням відходів • Застосування альтернативних джерел енергії • Зменшення витрат на систему теплопостачання • Висока якість надання послуг • Ціна нижча за таку ж в аналогах	Слабкі сторони (W): • Для досягнення ефекту необхідний значний об'єм ВЕР • На етапі становлення доля ринку буде низькою • Відношення місцевої влади - додаткові витрати на виконання їх вимог
Можливості (O): • Надання конкурентноспроможних послуг • Збільшення загального показника енергоефективності • Участь в тендерних змаганнях по проектуванню сучасних систем • Залучення закордонних інвесторів для створення дослідних центрів • Створення інноваційних технологій у даній сфері, їх патентування	Загрози (T): • Не співпадання розрахованих даних з такими ж в реальних умовах • Високий поріг при виході на ринок • Новизна технології - збільшення затрат на освоєння, зниження об'ємів виробництва • Промисловий шпіонаж • Рекет

4.6 Взаємовідносини зі споживачами та канали збуту

Споживач є основою догідної статті, в залежності від правильного акценту на ринок та цінової політики підібраної під замовника залежить більша половина успіху в співпраці. Тому аналіз роботи зі споживачем, та вивчення каналів збуту, несе за собою великий аналітичний підхід до вивчення

даного питання.

Взаємовідносини зі споживачами та канали збуту даного стартап-проекту зведено в загальну табл. 4.7.

Таблиця 4.7 - Взаємовідносини зі споживачами та канали збуту

Сегмент споживачів	Особливості поведінки	Вимоги споживачів	Канали збуту	Інші аспекти взаємовідносин
Багатопрофільні підприємства (підприємства і підрядні організації, що проводять монтажньо-будівельні роботи; підприємства виробники обладнання; офіційні дилери обладнання з-за кордону)	Загальний стан економіки в країні і наявність усталеної купівельної здатності населення; орієнтація споживачів на енергоефективні рішення;	- стабільність ціни на продукцію -задоволеність кінцевого споживача -надійність роботи систем - поширення та використання продукції в проектах	Канали збуту нульового рівня, тобто послуги з розроблення готових рішень надаються безпосередньо підприємствам-виробникам обладнання	Для коректної роботи схем необхідна взаємодія кількох підприємств, для вирішення комплексних питань
Багатосторонні платформи (державні підприємства та забудови; підприємства теплопостачання та виробництва електроенергії)	Орієнтованість державних установ та будівельників на європейські стандарти і принципи	- близькість від інженерних мереж - стабільність виробництва теплової енергії - екологічна безпека введення даної технології	Може бути однорівневий канал збуту, тобто теплова енергія буде передаватись у власність підприємству енергетичного сектору, а потім продаватись її безпосередньо му споживачу	Монополізація енергетичного сектору є несприятливою для розвитку проекту в даному напрямі. Для цього необхідно розробити комплекс маркетингових заходів
Кінцеві споживачі (особи, що бажають встановити індивідуальну теплонасосну систему теплопостачання)	Бажання внести свій вклад в екологічний стан планети; Орієнтованість споживачів на західні шаблони ринку	-якість -надійність -невисока ціна -відповідність європейським стандартам	Канал збуту нульового рівня; послуга надання комплексних рішень надається безпосередньо	Низька орієнтованість споживача на довгострокову перспективу

4.7 Обґрунтування ресурсів та витрат проекту

Для даної складової проектів було порівняно цінову політику як не

великих підприємств так і ключових гравців, тобто імпортерів або ж виробників

Що до купівельної спроможності, дані бралися з економічного державного моніторингу.

Обґрунтування ресурсів та витрат проекту наведено в табл. 4.8 - 4.12.

Таблиця 4.8 - Визначення ціни

Рівень цін на товари-замінники	Рівень цін на товари-аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на продукцію	Розрахункова ціна продукції
30500 грн/м ³ оп. об'єму *рік	35200 грн/м ³ оп. об'єму *рік	20-100 тис. грн/міс	12 - 60 тис. грн/м ³ оп. об'єму *рік	30000 грн/м ³ оп. об'єму *рік

Таблиця 4.9 - Визначення обсягу виробництва продукції

Показник	Значення по роках				
	2020	2021	2022	2023	2024
Загальна потреба в продукції	30 од/рік	35 од/рік	40 од т/рік	60 од/рік	100 од /рік
Можливі річні обсяги випуску в натуральних показниках	30 од/рік	35 од/рік	50 од/рік	60 од/рік	110 од/рік
Ціна одиниці продукції (грн/кг)	30	30	40	45	55
Річні обсяги випуску в вартісних показниках (тис. грн.)	900	1050	1600	2700	5500

Таблиця 4.10 - Розрахунок загальних початкових інвестиційних витрат

Назва етапу	Строки виконання	Обсяги фінансування, тис.
Проведення досліджень	1 місяць	200
Придбання устаткування	0,5 місяця	80
Рекламні витрати	1 місяць	300
Витрати на управління	1 місяць	50
Інші витрати	-	20
Разом	3,5 місяців	650

Таблиця 4.11 - Розрахунок виробничих витрат

Стаття витрат	Сукупні витрати за період, тис. грн.				
	2020	2021	2022	2023	2024
Загальногосподарські витрати	181	165	157	168	168
витрати на оренду та утримання приміщень, обладнання	96	100	100	100	100
комунальні витрати	10	5	7	8	8
витрати на збут, просування та рекламу	75	60	50	60	60
Витрати на оплату праці	480	500	500	560	600
Разом	661	665	657	728	768

Таблиця 4.12 - Розрахунок загальних витрат на реалізацію стартап-проекту за роками

Показник	Значення по роках					Разом
	2020	2021	2022	2023	2024	
Інвестиційні витрати	650	500	500	500	500	2650
Виробничі витрати	661	665	657	728	768	3479
Обсяг загальних витрат, в тому числі за рахунок	1311	1165	1157	1228	1268	8562
- власних коштів	-	400	800	1228	1268	3696
- коштів інвестора	1311	765	357	-	-	2433

4. 8 План робіт та партнери стартап-проекту

Реалізація повного спектру послуг, на початку проекту є не можливою, тому для того щоб не відмовлятися від певних напрямків роботи, ми будемо залучати субпідрядників, а також компанії партнери які працюють в різних сферах, це дасть змогу розвиватися у всіх напрямках та забезпечувати споживача всім спектром послуг.

План поставлених робіт, а також партнери, що будуть залучені до стартап-проекту, наведено в табл. 4.13.

Таблиця 4.13 - План робіт та партнери стартап-проекту

Бізнес-процес проекту	Термін виконання	Виконавець, співвиконавці	Результат
Розробка та конструювання схем	2 місяців	Спільні підприємства для запуску проектів	Розроблені схеми
Ексергетичний аналіз систем		Спільні підприємства для запуску проектів	Розроблений план з покращення систем
Розробка і дослідження аспектів експлуатації схем		Спільні підприємства для запуску проектів	Готовий план експлуатації системи
Дослідження розвитку ринку	1 місяці	Спільні підприємства для запуску проектів	Результати ринкових досліджень
Організація маркетингу і продажів	2 місяці	Співробітництво між неконкуруючі компаніями	Рекламна кампанія, угоди зі споживачами
Забезпечення і збут	1 місяць	Співпраця з виробниками обладнання	Угоди з виробниками обладнання
Післяпродажне обслуговування	1 місяць	Відносини виробника зі споживачами	Узгодження умов обслуговування зі споживачами

4.9 Грошовий потік та економічна оцінка стартап-проекту

1. Визначення крапки беззбитковості проекту

Крапка беззбитковості відображає обсяг виробництва інноваційної продукції, при досягненні якого виручка від реалізації покриває сумарні витрати на її виробництво. Розрахунок точки беззбитковості проводиться за формулою:

$$T = \frac{C}{P-V}. \quad (4.1)$$

де C - постійні витрати на весь обсяг продукції (ті, які не залежать від обсягу виробництва продукції - загальногосподарські витрати та витрати на оплату праці, визначені в табл. 4.11);

P - ціна одиниці продукції;

V - змінні витрати на одиницю продукції (витрати на матеріальні ресурси, визначені в табл. 4.11).

Результати визначення крапки беззбитковості проекту зведено в (табл. 4.14).

Таблиця 4.14 - Визначення крапки беззбитковості проекту

Стаття витрат	Сукупні витрати за період, тис.				
	2020	2021	2022	2023	2024
Загальногосподарські витрати	181	165	157	168	168
Витрати на оплату праці	480	500	500	560	600
Постійні витрати на весь обсяг продукції (С)	661	665	657	728	768
Ціна одиниці продукції (Р), тис грн/од	30	30	40	45	55
Можливі річні обсяги випуску в натуральних показниках, од/рік	30	35	50	60	110
Змінні витрати на одиницю продукції (V), грн/кг	0	0	0	0	0
Точка беззбитковості, од	22	23	17	17	14

Рівень беззбитковості за проектом може бути досягнений у перший же рік введення проекту в дію.

2. Формування грошового потоку від реалізації проекту

Чистий дисконтований дохід (NPV, Net Present Value) - це різниця між надходженнями за весь період інноваційного проекту та інвестиціями в проект.

Таблиця 4.15 - Формування грошового потоку від реалізації проекту

Показник	Значення по роках					Разом
	2020	2021	2022	2023	2024	
Надходження від проекту (виручка від реалізації продукції.) (D)	900	1050	1600	2700	5500	11750
Загальні витрати (I)	1311	1165	1157	1228	1268	6129
Грошовий потік ($3 = 1 - 2$) (CF)	-411	-115	443	1472	4232	5621
Акумуляований грошовий потік (ACF)	-1722	-1280	-714	244	2964	-

$NPV = 5621 > 0$ протягом розрахункового періоду - інноваційний проект доцільно прийняти.

3. Розрахунок індексу рентабельності інвестицій в стартап-проект (ROI)

ROI (Return On Investment) характеризує рівень грошового потоку, що припадає на одиницю інноваційних витрат і обчислюється за формулою (інвестиція здійснюється одноразово):

$$ROI = \sum_t D_t / I. \quad (4.2)$$

де D_t - надходження у відповідному періоді;

I - разова інвестиція.

Таким чином, індекс рентабельності інвестицій в стартап-проект становить

$$ROI = \frac{11750}{2433} = 4,83.$$

$ROI = 4,83 > 1$ - це означає, що інноваційний проект доцільно прийняти. Чим більшим є значення цього показника, тим вищою є віддача кожної грошової одиниці, інвестованої в інноваційний проект. Критерій ROI використовують при виборі певного проекту із декількох альтернативних, у яких NPV приблизно однакові.

4. Період окупності інвестицій ($T_{ок}$).

Це розрахунковий термін від початку реалізації проекту, починаючи з якої акумульований грошовий потік (ACF) приймає стійке позитивне значення. Іншими словами, це період, починаючи з якого первинні вкладення та інші витрати, пов'язані з інвестиційним проектом, покриваються сумарними результатами його здійснення.

Термін окупності розраховується за формулою:

$$T_{ок} = t + \frac{|ACF_{t-}|}{|ACF_{t-}| + |ACF_{t+}|}. \quad (4.3)$$

Де t - останній період реалізації проекту, за якого акумульований грошовий

потік (різниця накопиченого доходу і витрат) приймає від'ємне значення (ACF - див. рядок 4 в табл. 4.15) - у формулі зазначається порядковий номер періоду від початку фінансування);

ACF^+ — - це остання від'ємна різниця накопиченого доходу та витрат (грн.);

ACF^{++} - це перша позитивна різниця накопиченого доходу та витрат (грн.).

$$T_{ок} = 1 + \frac{714}{714 + 244} = 1,75$$

Отже, визначено, що період окупності інвестицій складає 1,75 років.

Висновки до розділу 4

1. За розглянутими пунктами можна побачити, що даний проект є прибутковим, а найголовніше, - ефективним рішенням питання ефективного використання первинних і вторинних енергоресурсів в Україні. Крім цього реалізація даного проекту може покласти початок масовості використання теплових насосів та додаткових «зелених» джерел енергії в Україні.

2. Для реалізації проекту необхідно інвестувати 2433 тис. грн., період окупності інвестиційних відрахувань складає всього 1,75 років, індекс рентабельності інвестицій в проект за 5 років становить 4,83 одиниці, а рівень беззбитковості за проектом може бути досягнений у перший же рік введення проекту в дію.

3. Дана технологія є інноваційною для нашої країни, і її впровадження дозволить покращити ситуацію на енергетичному ринку. Розвиток даного проекту, а саме поширення використання ексергетичних показників ефективності теплотехнічних систем дозволить в подальшому знизити витрати палива на традиційні теплогенеруючі установки. Також важливим показником є використання теплоти скидних видів теплоти, що наблизить системи теплопостачання до рівня беззбитковості і безвідходності.

ВИСНОВКИ

У магістерській дисертації було розглянуто конструктивні особливості, ефективність комбінованих схем теплонасосного теплопостачання з використанням низькопотенційних джерел енергії. Виконаний термодинамічний аналіз енергоефективності систем опалення на базі повітряних теплових. Проведено порівняльний аналіз енергетичної ефективності всіх запропонованих рішень за питомою витратою зовнішньої енергії на одиницю теплоти та визначено найбільш ефективну комбіновану схему.

Актуальність роботи полягає у тому, що нині питання енергоефективності та енергозбереження вважається головним в галузі енергетики. Теплові насоси є одними із найбільш перспективних технологій, що мають на меті зменшити використання первинних енергоресурсів, скоротити викиди шкідливих речовин в атмосферу, а також забезпечити надійність, безшумність та безпеку роботи такої системи. Все більше уваги приділяється енергозберігаючим технологіям, що використовують відновлювальні джерела енергії.

У роботі проведено короткий огляд проблем використання теплонасосної технології в Україні. Проаналізовано перспективи їх впровадження, адже ціни на електричну енергію та природний газ постійно підвищуються. Проведений аналіз перспектив розвитку теплонасосних технологій в Україні та світі також дозволяє стверджувати, що теплові насоси, незважаючи на більш високі первинні капітальні вкладення, відбирають ринок у котельних агрегатів з економічних причин - через більш низькі експлуатаційні витрати. Вперше енергетична політика розвитку людства пов'язується зі зниженням, а не з підвищенням споживання енергоресурсів; задля впровадження в життя теплонасосних технологій необхідно обрати оптимальний тип ТНУ для кліматичних умов регіону, розробити схему теплопостачання з найбільшою енергетичною ефективністю; впровадження ТНУ в Україні наразі можливе лише за умови пониження капіталовкладень в

інсталяцію обладнання та вдосконалення існуючих схем теплопостачання на базі ТНУ

Задля визначення теоретичних засад ефективного використання теплонасосних систем в умовах українського клімату було проведено детальний термодинамічний та енергетичний порівняльні аналізи. Зроблені наступні висновки.

1. Проведений аналіз схеми теплонасосного опалення з використанням теплоти ґрунту .

2. Використання теплового насоса в системах вентиляції повітря в виробничих приміщеннях дозволяє забезпечити комфортні умови роботи приміщення з достатньо високою термодинамічною ефективністю.

3. Запровадження комбінованої схеми теплонасосного опалення та вентиляції збільшує температуру повітря, що подається на підігрівачі вентиляційної системи. Це в свою чергу зменшує навантаження на теплообмінники вентиляції та покращує умови їх роботи, зменшуючи ризик обмерзання повітропроводів.

4. Зменшення загальних затрат енергії на систему опалення і вентиляції має наслідком не тільки підвищення енергоефективності системи теплопостачання, але приводить і до зменшення капітальних затрат на спорудження теплонасосної установки (зокрема, на спорудження дороговартісного ґрунтового теплообмінника) пропорційно зменшенню її необхідної потужності.

5. Потреби теплоти на опалення та вентиляцію вибраної будівлі при застосуванні запропонованої схеми майже на 60 % скорочує як енергетичні затрати, так і відповідну кількість теплонасосного обладнання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Ю.А. Страшинова «Мировая энергетика: прогноз развития до 2020 г.». : «Энергия», 2000 г., с.- 256.
2. В.А. Мазур Тепловые насосы – шаг в будущее столетие: Навчальний посібник. – 2-ге вид. – Суми: ВТД «Університетська книга», 2003. – 284 с..
3. М.А. Мартиняк «Тепловой насос» М.: «Инфра-М», 2006г., с.- 416.
4. Э.В. Гурусов, С.Н. Бобылев, А.Л. Новоселов, Н.В. Чепурных «Экология и экономика теплонасосных установок» М.: «ЮНИТИ-ДАНА», 2007г., с.-519.
5. Перхуткина В.П. «Справочник инженера по охране окружающей среды (эколога)» М.: «Инфра - Инженерия», 2006г.с.-864.
6. Топольницький О.Г. Система управління альтернативними джерелами тепла на базі ISO 14000, як запорука багатству / Топольницький О. Г. – К. : Аквілон-Прес, 2003. – 123 с..
7. Тепловой насос на производстве / М. М. Шикула, О. Ф. Гнатенко, Л. Р. Петренко, М. В. Капштик. — К.: Знання, КОО, 2004. — 398 с.
8. Боголюбов В. М., Прилипко В. А. Стратегія сталого розвитку. — Херсон: Олді-плюс, 2009. — 322 с.
9. В.И. Кучигин «Моделирование процессов работы горячего водоснабжения» М.:АСВ, 2003г.с.- 228.
10. Буркинський В. Екологічно чисте тепло обладнання. Наукові засади впровадження та розвитку // Вісн. НАН України. — 2006. — № 5. — С. 11—17.
11. Журнал «Экологические системы и приборы» №2, 2006г., с.-48.
11. Справочник по системам отопления/ Л.Л. Паль, Я.Я. Кару, Х.А. Мельдер, Б.Н. Репин и др. М.: «Высшая школа», 1994г.с. - 336.

12. Яковлев С.В., Карелин Я. А., Ласков Ю.М., Воронов Ю.В. «Обогрев и горячее водо снабжение», М.: Строиздат, 1979г., с.- 58.
13. Родионов А.И., Кузнецов Ю.П., Соловьев Г.С. «Альтернативные источники тепла. Тепловые системы» М.: «Химия», «КолосС», 2005г. с.- 392.
14. Гібридні системи тепло-водо постачання / Г. І. Рудько, О. М. Адаменко, О. В. Чепіжко, М. Д. Крочак. — Чернівці: Букрек, 2010. — 400 с.
Когановский В.М., Клименко Н.А., Левченко Т.М. и др. «Использование сточных вод в промышленном отоплении», М.: «Химия», 1983г.с.- 288.
15. А.И. Василенко, А.А. Василенко «Отопление. Курсовое проектирование». М.: «Высшая школа», 1975г., с.- 208.
16. Е.А. Горбачев «Проектирование отопительных систем водопровода и поверхностных источников» М.: АСВ, 2004 г., с. - 240.
17. Мельник Л. Г. Основи стійкого розвитку. — Суми: Університетська книга, 2006. — 325 с.
18. Екологія і закон. Екологічне законодавство України у двох томах. Відповід. ред. В. І. Андрейцев – Т. 1. – 1998. – 576 с. – Т. 2. – 1998. – 702 с.
Мазур И.И., Молдованов И.О. «Курс инженерной экологии» М.: «Высшая школа», 2001г. с.- 510.
19. Пономарев В.Г., Иоакимис Э.Г., Монгайт И.Л. «Использование промышленных стоков в системе теплового насоса», М.: «Химия», 1985г.с.-256.
20. Кучерявий В. П. Теплоенергетика. – Львів: Світ, 2000. – 493 с..
21. Національна доповідь про стан навколишнього середовища в Україні. – К.: Мін. охорони навкол. природн. середовища, 2000. – 184 с.
22. Родионов А.И., Клушин В.Н., Систер В.Г. «Технологические процессы экологической безопасности» Изд. 3-е. Калуга: Изд-во Н. Бочкаревой, 2000г.с. - 800.

23. Публикация Зинчук О.А., Жадько Л.А., Зинчук Д.А. «Проблема озонового шара», г.Ростов-на-Дону: ДГТУ, 2005г.

24. ПЕРЕВАГИ ЗАСТОСУВАННЯ ТЕПЛОВИХ НАСОСІВ В УКРАЇНІ
// Матеріал сайту <https://ir.lib.vntu.edu.ua>

25. Яковлев С.В. Экономическая эффективность работы тепловых систем – М.: Будіввидав, 1986. – 336с.

26. Экономическая эффективность системы отопления на базе теплового насоса малой мощности // Матеріал сайту <http://dspace.nbuv.gov.ua/bitstream/handle>

27. Дудар Т.Г. Економіка природокористування.: Навчальний посібник. – К.: ІСДО, 1994. – 104с.

28. Геоекологія та охорона праці - КПІ // Матеріал сайту mining.kpi.ua/article/download/49175/45246

29. Купчик М.П., Гандзюка М.П. Основы охраны праці. – К.: Основа, 2000. – 416с.

30. Бертокс П., Радд Д. Стратегія захисту оточуючого середовища від забруднень /Пер.з англ. М.: Мир, 1980.

31. Liao C. Energetic and exergetic efficiencies of CHP (combined heat and power) plants used in district heating systems of China/ C. Liao, I.S. Ertesvag, J.Zhao // Energy . - 2013.- pp. 671-681.

32. Sayegh M.A. Trends of European research and development in district heating technologies/, M.A. Sayegh, J. Danielewicz, T. Nannou // Renewable and Sustainable Energy Reviews. -2017. -pp. 1183-1192.

33. Опалювальні системи // Матеріал сайту [https:// www.ceati.com](https://www.ceati.com).

34. Шубин Е. П. Основные вопросы проектирования систем теплоснабжения городов / Е. П. Шубин// Энергия. - 1979. -С. 154-170.

35. Теплофизические свойства водного раствора этиленгликоля [Электронный ресурс] // Режим доступа - <http://www.dpva.info/Guide/GuideMedias/Antifreeze/MEGwaterProperties/>

36. Nowak T. European heat pump market and statistics report 2015. Technical report. Brussels/ T. Nowak, P. Westring// The European Heat Pump Association AISBL (EHPA). - 2015. - pp. 24-30.

37. Kostikov A. O.. The influence of the thermal state of the soil on the efficiency of a heat pump installation with an underground heat exchanger./A. O. Kostikov// Power engineering: economics, technology, ecology. - 2009. - pp. 32-40.

38. Basok B. I. Dynamics of heat transfer in a groundless rectilinear single pipe element (heat exchanger)./ B. I.Basok, A. A. Avramenko, S. S. Ryzhkov // Ukraine: Industrial heat engineering.- 2009. - №1. - pp. 62-67.

39. Steward, F. R. Optimum arrangement and use of heat pumps in recovery waste heat / F. R. Steward //Energy Conversion Mgmt. - 1984. - № 2. - pp. 123-129.

40. Morozjuk, T. V. The theory of chillers and heat pumps/ T. V. Morozjuk //Studija « Negociant».2006. -pp. 521-550.

41. Bezrodny M. K. Analysis of energy and environmental aspects of waste heat recovery of the industrial gases./ M. K. Bezrodny, S. O. Khavin // Ecotechnologies and resource saving. -2003. - №1. - pp. 21-25.

42. Безродний М.К. Енергоефективність теплонасосно-рекуператорної системи водяного опалення і вентиляції з використанням теплоти ґрунту та вентиляційних викидів/М. К. Безродний, С.О.Ословський//Енергетика:економіка, технології, екологія.- 2018.-№ 3.-С.95-103. 43. <https://www.nibe-evan.ru/>.

43. Безродный М. К. Анализ комбинированной теплонасосной схемы отопления с использованием теплоты атмосферного воздуха и сточных вод

здания / М. К. Безродный, Н. А. Притула С. А. Ословский, // Энерготехнологии и ресурсосбережение. - 2018. - № 5. - С. 12-20.

44. Безродний М. К. Термодинамічна ефективність теплонасосної схеми опалення з використанням теплоти ґрунту та стічних вод / М. К. Безродний, Н. О. Притула, С. О. Ословський // Наукові вісті НТУУ «КПІ». - 2018. - № 1. - С. 7-15.

45. Гершкович В. Ф. Особенности проектирования систем теплоснабжения зданий с тепловыми насосами / В. Ф. Гершкович // ЧП “Энергоминимум”. - 2009. - С. 24-41.

47. Гершкович В. Ф. Кое-что из американского опыта проектирования тепловых насосов / В. Ф. Гершкович // Тепловые насосы. - 2011. - № 1. - С. 12-19.50.

48. J. Lund. Geothermal (ground-source) heat pumps a world overview / B. Sanner, L. Rybach, R. Curtis, G. Hellstrom // GHC BULLETIN. - September 2004. - P. 1 - 10.

49. Зимин Л.Б. Анализ эффективности теплонасосных систем утилизации теплоты канализационных стоков для теплоснабжений социальных объектов / Л.Б. Зимин, Н.М. Фиалко // Промышленная теплотехника. - 2008. - №1. - С. 142 - 160.

50. Кордас О. Моделирование энергетических характеристик геотермальных систем / О. Кордас, Е.И. Никифорович // Прикладна гідромеханіка. - 2014. - № 1. - С. 211-243.

51. Carvalho A.D. Ground source heat pump carbon emissions and primary energy reduction potential for heating in buildings in Europe - results of a case study in Portugal./ A.D. Carvalho, D. Mendrinós, A.T. De Almeida// Renewable and Sustainable Energy Reviews. - 2015. - pp. 755-768.

52. Zimny J. Heat pump market between 2000 and 2013: European background, current state and development prospects;/ J. Zimny, P. Michalak, K. Szczotka // Renewable and Sustainable Energy Reviews. - 2015. -pp. 791-812.