

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

**Навчально-науковий інженерно-технічний інститут ім. акад. І.С.Гулого  
Кафедра теплоенергетики та холодильної техніки**

**«До захисту в ЕК»**

Директор інституту

Сергій БЛАЖЕНКО

(підпис)

(ім'я та прізвище)

«\_\_» \_\_ грудня 2025 р.

**«До захисту допущено»**

Завідувач кафедри

Валентин ПЕТРЕНКО

(підпис)

(ім'я та прізвище)

«\_\_» \_\_ грудня 2025 р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА  
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА**

зі спеціальності 144 Теплоенергетика

(код та назва спеціальності)

освітньо-професійної програми Теплоенергетика та енергоефективні технології

на тему: Підвищення енергетичної ефективності та потужності системи

теплопостачання з використанням теплових насосів

Виконав: здобувач 2 курсу, групи ТЕ-2-8М

Кузьменко Максим Вікторович

(прізвище, ім'я, по батькові повністю)

(підпис)

Керівник доцент Самійленко Сергій Миколайович

(прізвище, ім'я та по батькові повністю)

(підпис)

Рецензент \_\_\_\_\_

(ім'я та прізвище)

(підпис)

Я, як здобувач Національного університету харчових технологій, розумію і підтримую політику університету з академічної доброчесності. Я не надавав і не одержував недозволеної допомоги під час підготовки цієї роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідні джерела.

(підпис та прізвище здобувача)

Київ – 2025 р.

# НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Навчально-науковий інженерно-технічний інститут ім.акад. І.С.Гулого  
Кафедра теплоенергетики та холодильної техніки

Освітній ступінь магістр

Спеціальність 144 Теплоенергетика

(код і назва)

Освітньо-професійна програма Теплоенергетика та енергоефективні технології

(назва)

## ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри **ТЕХТ**

проф.Валентин ПЕТРЕНКО

“17” вересня 2025 року

## ЗАВДАННЯ

### НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Кузьменко Максим Вікторович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Підвищення енергетичної ефективності та потужності системи теплопостачання з використанням теплових насосів

керівник роботи доцент Самійленко Сергій Миколайович

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від “17”09.2025 року № 712-кс

2. Строк подання здобувачем роботи 08.12.2025 року

3. Вихідні дані до роботи теплове навантаження котельні 34,0 МВт; температура зовнішнього повітря  $-22\text{ }^{\circ}\text{C}$  та  $+35\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; параметри роботи з водогрійними котлами; технічні характеристики теплових насосів та їхній коефіцієнт перетворення; Тарифи на газ та електроенергію;

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

1. Аналіз сучасного стану систем теплопостачання в Україні та Європі

2. Постановка задачі та об'єкт дослідження

3. Розрахунок модернізованої системи теплопостачання з інтеграцією теплових насосів

4. Охорона праці

5. Перелік графічного матеріалу

1. Теплова схема котельні.

2. Теплова схема котельні з повітряним насосом.

3. Теплова схема котельні з ґрунтовим насосом.

4. Теплова схема котельні з водяним насосом.

5. Power Point -15 слайдів

## 6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання 26.09.2025

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів виконання кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Отримання завдання на дипломний проект	30.09–02.10.2025	Виконано
2	Аналіз літературних джерел	03.10–15.10.2025	Виконано
3	Виконання розділу №1 КР	16.10–22.10.2025	Виконано
4	Виконання розділу №2 КР	23.10–01.11.2025	Виконано
5	Виконання розділу №3 КР	02.11–15.11.2025	Виконано
6	Виконання розділу №4 КР	16.11–30.11.2025	Виконано
7	Оформлення ПЗ, креслень	01.12–08.12.2025	Виконано

**Здобувач** \_\_\_\_\_  
(підпис)

**Максим КУЗЬМЕНКО** \_\_\_\_\_  
(ім'я та прізвище)

**Керівник роботи** \_\_\_\_\_  
(підпис)

**Сергій САМІЙЛЕНКО** \_\_\_\_\_  
(ім'я та прізвище)

# ЗМІСТ

АНОТАЦІЯ.....	5
РОЗДІЛ I. Аналіз сучасного стану систем теплопостачання в Україні та Європі	8
1.1 Аналіз сучасного стану систем теплопостачання.....	8
1.2 Енергозбереження як стратегічна мета модернізації теплопостачання.....	11
1.3 Законодавча база щодо енергоефективності та теплових насосів.....	13
1.4 Огляд технологій теплових насосів.....	15
1.5 Порівняння технічних характеристик (COP, сезонна залежність, потужність).....	27
1.6 Приклади застосування теплових насосів у різних країнах.....	31
Висновки .....	41
РОЗДІЛ II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ТА ОБ’ЄКТ ДОСЛІДЖЕННЯ .....	44
2.1. Мета та завдання дослідження.....	44
2.2. Вибір об’єкта дослідження - тепла станція СТ1.....	46
2.3 Оцінка енергетичної ефективності існуючої системи.....	56
2.4 Потенціал модернізації: інтеграція теплових насосів .....	59
Висновки .....	67
РОЗДІЛ III. АНАЛІЗ СХЕМНИХ РІШЕНЬ ГІБРИДНОЇ СИСТЕМИ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ З ІНТЕГРАЦІЄЮ ТЕПЛОВИХ НАСОСІВ	70
3.1 Вихідні технічні припущення для модернізації.....	70
3.2 Варіант 1 — базова система (котельня без теплових насосів).....	74
3.3 Варіант 2 — модернізована система .....	79
3.3.1 модернізована система (котел + повітряний насос).....	79
3.3.2 модернізована система (котел + ґрунтовий насос).....	83
3.3.3 модернізована система (котел + водяний насос) .....	88
Висновки .....	93
Розділ III. ОХОРОНА ПРАЦІ.....	95
Висновки .....	107
Список використаної літератури	108

					00KPM 144OPTe00.005. 240345.2025.ПЗ			
Змін.	Лист	№ документа	Підпис	Дата	<b>ЗМІСТ</b>			
Розробив		Кузьменко М.В.			<i>Підвищення енергетичної ефективності та потужності системи теплопостачання з використанням теплових насосів</i>	Літера	Аркушів	Аркуш
Перевірив		Самійленко.С.М.					109	4
Рецензув.						ТЕ-1-8М кафедра ТЕХТ НУХТ		
Затвердив		Петренко В.П.						

## АНОТАЦІЯ

Кузьменко М.В. Підвищення енергетичної ефективності та потужності системи теплопостачання з використанням теплових насосів – кваліфікаційна робота на правах рукопису.

У роботі проведено аналітичний огляд сучасного стану систем теплопостачання в Україні та країнах Європейського Союзу, визначено основні проблеми їхньої експлуатації та перспективи модернізації. Обґрунтовано актуальність впровадження теплових насосів як одного з найбільш ефективних напрямів підвищення енергоефективності та зниження залежності від викопного палива.

Виконано розрахунок базового варіанту котельні з водогрійними котлами, визначено витрати природного газу, електроенергії та собівартість виробленої теплоти. На основі отриманих даних розроблено три варіанти модернізованої системи з інтеграцією теплових насосів різних типів (повітряного, ґрунтового та водяного). Для кожного варіанту визначено енергетичні показники, коефіцієнти перетворення (COP), електроспоживання та собівартість теплоти. Проведено порівняння базового та гібридних варіантів, що дозволило оцінити економічну доцільність та технічну ефективність впровадження теплових насосів.

Окремий розділ присвячено питанням охорони праці, де розглянуто виробничу санітарію, безпечну експлуатацію обладнання, дії персоналу при аварійних ситуаціях та екологічні аспекти.

Графічна частина містить теплові схеми котельні та гібридних систем, а також графіки залежності коефіцієнта перетворення та собівартості теплоти від температурних режимів.

**Ключові слова:** тепловий насос, котельня, енергоефективність, гібридна система, собівартість теплоти, охорона праці, модернізація теплопостачання.

## ABSTRACT

Kuzmenko M.V. **Enhancing the Energy Efficiency and Capacity of a District Heating System through the Integration of Heat Pumps** – Master's thesis, manuscript form.

This work presents an analytical review of the current state of district heating systems in Ukraine and the European Union, identifying key challenges and modernization prospects. The relevance of heat pump integration is substantiated as one of the most effective approaches to improving energy efficiency and reducing dependence on fossil fuels.

A baseline calculation of a boiler house with hot-water boilers was performed, including the determination of natural gas consumption, electricity demand, and the cost of produced heat. Based on these results, three modernization scenarios were developed with the integration of different types of heat pumps (air-source, ground-source, and water-source). For each scenario, energy indicators, coefficients of performance (COP), electricity consumption, and heat production costs were calculated. A comparative analysis of the baseline and hybrid systems was conducted to evaluate the economic feasibility and technical efficiency of heat pump implementation.

A separate section is devoted to occupational safety, covering industrial hygiene, safe operation of equipment, personnel actions in emergency situations, and ecological aspects of system operation.

The graphical part includes thermal schemes of the boiler house and hybrid systems, as well as charts illustrating the dependence of COP and heat cost on temperature regimes.

**Keywords:** heat pump, boiler house, energy efficiency, hybrid system, heat cost, occupational safety, district heating modernization.

## ВСТУП

Метою даної кваліфікаційної роботи є підвищення енергетичної ефективності та потужності системи тепlopостачання житлово-промислового району шляхом інтеграції теплових насосів у традиційну котельну схему.

В умовах зростання цін на енергоносії, необхідності зниження залежності від природного газу та виконання екологічних вимог щодо скорочення викидів парникових газів модернізація систем тепlopостачання є стратегічно важливим завданням. Використання теплових насосів дозволяє забезпечити гнучкість, економічну доцільність та екологічну безпеку енергопостачання.

У роботі покладено комплексний аналіз базової котельної системи та трьох гібридних варіантів: «котел + повітряний тепловий насос», «котел + ґрунтовий тепловий насос» та «котел + водяний тепловий насос». Для кожного варіанту визначено енергетичні показники, коефіцієнти перетворення (COP), електроспоживання та собівартість виробленої теплоти.

Для практичної реалізації системи потрібні:

- технічні характеристики котлів та теплових насосів;
- вихідні дані щодо теплового навантаження району;
- тарифи на газ та електроенергію;
- розрахунки економічної ефективності та екологічних показників.

При дотриманні всіх розрахунків модернізована система тепlopостачання зможе більш повно задовольнити потреби населення району в опаленні та гарячому водопостачанні, а також забезпечити теплові навантаження промислових підприємств із меншими витратами енергії та зниженим рівнем шкідливих викидів.

# РОЗДІЛ I. Аналіз сучасного стану систем теплопостачання в Україні та Європі

## 1.1 Аналіз сучасного стану систем теплопостачання

Системи теплопостачання відіграють ключову роль у забезпеченні комфортного проживання населення, стабільної роботи промислових об'єктів та сталого розвитку міської інфраструктури. [1] В умовах глобального потепління, енергетичної кризи та зростання цін на енергоносії питання енергоефективності теплопостачання набуває особливої актуальності. [2] У цьому розділі я розгляну сучасний стан систем теплопостачання в Україні та країнах Європейського Союзу, порівняю їхні підходи до модернізації, джерела енергії та рівень енергоефективності.

### Стан теплопостачання в Україні

На момент написання роботи більшість систем централізованого теплопостачання в Україні залишаються морально та фізично застарілими. [3] За даними UABIO понад 80% теплових мереж були збудовані ще в радянський період, і їхній фізичний знос перевищує 70%. [4] Це призводить до значних втрат теплової енергії - до 25-30% на етапі транспортування. Більшість котелень працюють на природному газі, що робить систему залежною від імпортного ресурсу та вразливою до цінових коливань. [5]



Рис. 1.1.1 - Ступінь зношеності теплових мереж в Україні (%)

Особливо складною ситуація стала після початку повномасштабної війни у 2022 році. Частина інфраструктури була зруйнована, а інвестиції в модернізацію - заморожені. У багатьох містах виникла потреба в автономних джерелах тепла, що призвело до зростання інтересу до теплових насосів, твердопаливних котлів та електричних систем опалення.

[6]

Основні проблеми українських систем теплопостачання:

1. **Високі втрати тепла** через зношені мережі.
2. **Низька ефективність котелень**, особливо в малих містах.
3. **Залежність від газу** як основного джерела енергії.
4. **Відсутність гнучкого регулювання** споживання тепла на рівні споживача.
5. **Недостатнє впровадження сучасних технологій**, таких як теплові насоси, акумулятори тепла, цифрові системи управління.

### **Стан теплопостачання в країнах Європи**

На відміну від України, більшість країн Європейського Союзу вже реалізували або активно реалізують стратегії переходу до **низьковуглецевого теплопостачання**. Наприклад, у Данії понад 60% тепла виробляється з відновлюваних джерел, включаючи біомасу, геотермальну енергію та теплові насоси. У Швеції централізоване теплопостачання охоплює понад 90% міських будинків, і більшість котелень працюють на біопаливі або скидному теплі від промислових підприємств.

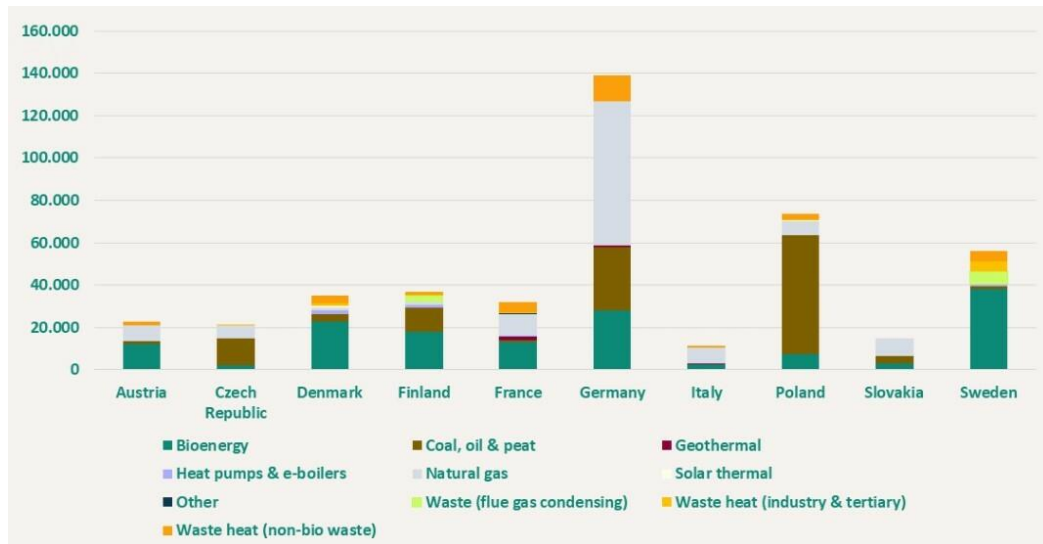


Рис. 1.1.2 - джерел тепла у системах теплопостачання ЄС

У Німеччині активно впроваджуються **гібридні системи**, які поєднують теплові насоси, сонячні колектори та теплові акумулятори. Це дозволяє зменшити навантаження на електромережу та забезпечити стабільне теплопостачання навіть у пікові години.

Ключові переваги європейських систем:

1. **Високий рівень енергоефективності** завдяки сучасним технологіям.
2. **Диверсифікація джерел енергії** - біомаса, скидне тепло, геотермальна енергія.
3. **Цифрове управління** системами теплопостачання.
4. **Інтеграція з системами зберігання енергії** (теплові акумулятори).
5. **Підтримка на рівні ЄС** - фінансування модернізації через програми Green Deal, Horizon Europe тощо.

Системи теплопостачання в Україні потребують **глибокої модернізації**, зокрема переходу до **відновлюваних джерел енергії** та **впровадження**

**теплових насосів.** Європейський досвід демонструє, що такі зміни не лише можливі, а й економічно доцільні. Впровадження сучасних технологій дозволяє зменшити витрати, підвищити стабільність системи та знизити залежність від викопного палива. [7]

## **1.2 Енергозбереження як стратегічна мета модернізації теплопостачання**

На сучасному етапі розвитку енергетики питання енергозбереження набуло особливого значення. [8] Це вже не просто бажання зменшити витрати на опалення - це вимога часу, яка диктується як внутрішніми викликами, так і глобальними тенденціями. В умовах енергетичної кризи, зростання цін на газ та електроенергію, а також необхідності зменшення викидів парникових газів, модернізація систем теплопостачання має базуватись на принципах енергоефективності.

Особисто я переконався в цьому, коли почав аналізувати існуючі системи теплопостачання в Україні. Більшість з них - це застарілі централізовані мережі, які не мають можливості гнучкого регулювання, мають високі втрати тепла та працюють на викопному паливі. За даними USAID ESP, втрати теплової енергії в українських мережах сягають 25-30%, а ефективність котелень часто нижча за 60%. [9] Це означає, що третина енергії просто втрачається - і це в умовах, коли кожен кіловат має значення.

У звіті USAID зазначено, що модернізація навіть 10% теплових мереж дозволяє зекономити до 1 млрд грн щорічно на паливі та обслуговуванні.

Коли говориться про енергозбереження як стратегічну мету, мається на увазі не лише технічні заходи, а й системний підхід. Це включає:

1. Заміщення викопного палива на відновлювані джерела (біомаса, геотермія, скидне тепло).

2. Інтеграцію теплових насосів як одного з найефективніших способів генерації тепла.
3. Встановлення індивідуальних теплових пунктів (ІТП) для регулювання споживання на рівні будинку.
4. Цифровізацію управління - моніторинг, прогнозування, автоматичне регулювання.

У 2021 році Державне агентство з енергоефективності України оголосило ІТП одним із пріоритетів державної програми модернізації. Як зазначив голова агентства Валерій Безус, ІТП - це не просто технічний вузол, а ключовий компонент комплексної модернізації систем теплопостачання.

### **Європейський досвід: енергозбереження як частина Green Deal**

У країнах Європи енергозбереження давно стало частиною національних стратегій. Наприклад, у Німеччині, Данії та Швеції теплопостачання базується на **низьковуглецевих технологіях**, а модернізація мереж включає:

1. **Теплові акумулятори** для зберігання надлишкового тепла.
2. **Системи скидного тепла** від промислових процесів.
3. **Міське планування** з декарбонізації тепломереж (всі муніципалітети з населенням понад 50 тис. зобов'язані мати дорожні карти модернізації).

Проект KeepWarm Europe показав, що навіть у Центральній та Східній Європі, де системи теплопостачання були малоефективними, **інвестиції в енергозбереження дають швидкий економічний ефект** і дозволяють зменшити залежність від імпортного палива.

Для України енергозбереження - це не просто технічна модернізація, а **шанс на енергетичну незалежність**. Впровадження теплових насосів, ІТП, цифрових систем управління та перехід на відновлювані джерела енергії - це

ті кроки, які дозволять не лише зменшити витрати, а й створити **стійку, гнучку та екологічно безпечну систему теплопостачання.**

### **1.3 Законодавча база щодо енергоефективності та теплових насосів**

У контексті переходу України до енергоефективної економіки, законодавче регулювання відіграє фундаментальну роль. Саме нормативно-правові акти визначають рамки, у яких можуть впроваджуватись сучасні технології, такі як теплові насоси, а також створюють стимули для їх використання. У цьому розділі я розгляну основні закони, стандарти та директиви, що регулюють сферу енергоефективності та впровадження теплових насосів, як в Україні, так і в Європейському Союзі. [10]

#### **Законодавча база України**

Українське законодавство в сфері енергоефективності активно розвивається, особливо після підписання Угоди про асоціацію з ЄС. Основними нормативними актами, які регулюють питання енергозбереження та використання теплових насосів, є:

1. **Закон України «Про енергетичну ефективність будівель»** (№ 2118-VIII від 22.06.2017) - встановлює вимоги до енергетичної сертифікації будівель, обов'язковість енергоаудиту при реконструкції та новому будівництві.

2. **Закон України «Про теплопостачання»** - визначає принципи функціонування систем теплопостачання, включаючи можливість використання альтернативних джерел тепла.

3. **Закон України «Про альтернативні джерела енергії»** - створює правові умови для використання теплових насосів як джерела тепла з низьким рівнем викидів.

4. **ДБН В.1.2-11:2021 «Енергозбереження та енергоефективність»** - встановлює технічні вимоги до проектування енергоефективних будівель, включаючи допустимі рівні тепловтрат, опору теплопередачі, а також можливість використання теплових насосів як основного або допоміжного джерела тепла.

Окремо варто згадати **державну програму «Теплі кредити»**, яка діяла до 2021 року і дозволяла ОСББ та приватним домогосподарствам отримувати компенсацію на встановлення енергоефективного обладнання, включаючи теплові насоси. Хоча програма завершена, її досвід став основою для нових механізмів підтримки, таких як Фонд енергоефективності.

### **Гармонізація з європейськими директивами**

Україна поступово імплементує положення європейських директив, які регулюють енергоефективність та використання теплових насосів:

1. **Директива 2010/31/EU** - про енергетичну ефективність будівель, вимагає мінімальних стандартів енергоефективності та сертифікації.

2. **Директива 2009/28/EC** - про сприяння використанню енергії з відновлюваних джерел, визнає теплові насоси як відновлюване джерело енергії за умови відповідності COP.

3. **Директива 2009/125/EC** - встановлює екодизайн для енергоспоживчих продуктів, включаючи теплові насоси.

4. **Регламент (EU) 811/2013** - визначає вимоги до маркування енергоефективності теплогенеруючих пристроїв, що дозволяє споживачам порівнювати ефективність різних моделей.

У статті І.С. Соколовської (Інститут загальної енергетики НАН України) зазначено, що **гармонізація українських стандартів з європейськими є критично важливою** для розвитку ринку теплових насосів. Вона дозволяє не

лише адаптувати технології, а й відкриває доступ до міжнародного фінансування та сертифікації.

### **Проблеми та перспективи**

Попри наявність базових законів, **реальне впровадження теплових насосів в Україні стримується** низкою факторів:

1. Відсутність чітких технічних регламентів щодо монтажу та експлуатації теплових насосів.
2. Недостатня кваліфікація фахівців у сфері проектування та обслуговування.
3. Обмежений доступ до фінансування для домогосподарств та ОСББ.
4. Низька обізнаність населення про переваги теплових насосів.

Однак, з огляду на зростаючий інтерес до енергоефективності, **очікується активне оновлення нормативної бази**, зокрема через розробку нових ДСТУ, адаптованих до європейських стандартів, та запуск нових програм підтримки.

Законодавча база щодо енергоефективності та теплових насосів в Україні перебуває на етапі активного розвитку. Вона вже включає ключові положення, що дозволяють впроваджувати сучасні технології, але потребує подальшої деталізації, гармонізації з європейськими нормами та практичної реалізації. У своїй роботі я буду спиратись на ці нормативні документи як основу для технічного обґрунтування модернізації системи теплопостачання СТ1. [11]

### **1.4 Огляд технологій теплових насосів**

Сучасні системи теплопостачання дедалі більше орієнтуються на використання відновлюваних джерел енергії та технологій, що дозволяють

зменшити залежність від викопного палива. Однією з таких технологій є теплові насоси, які сьогодні вважаються одним із найперспективніших напрямів розвитку енергетики. Їхня унікальність полягає у здатності використовувати низькопотенційне тепло навколишнього середовища - повітря, ґрунту чи води - і перетворювати його на корисну теплову енергію для опалення, гарячого водопостачання та навіть охолодження приміщень. [12]

Принцип роботи теплового насоса можна порівняти з роботою звичайного холодильника, але з протилежним ефектом. Якщо холодильник відводить тепло назовні, то тепловий насос переносить його всередину системи опалення. Основним елементом є холодоагент, який у замкнутому циклі змінює агрегатний стан: у випарнику він поглинає тепло з навколишнього середовища, компресор стискає газ і підвищує його температуру, а конденсатор передає тепло у систему опалення. Завдяки цьому процесу можна отримати у кілька разів більше теплової енергії, ніж витрачається електричної. Саме тому показник **COP (Coefficient of Performance)** є ключовим для оцінки ефективності теплового насоса. Наприклад,  $COP = 4$  означає, що на кожен 1 кВт електроенергії насос виробляє 4 кВт тепла.

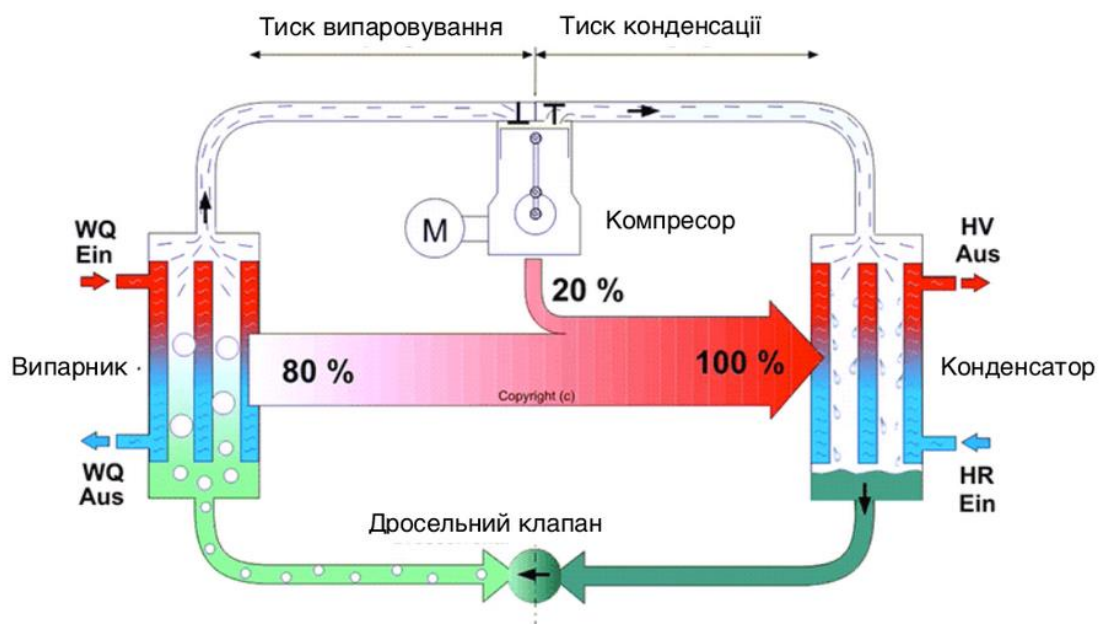


Рис. 1.4.1 - Принцип роботи теплових насосів.

## **Повітряні теплові насоси**

Найбільш поширеним типом є **повітряні теплові насоси** (Air-to-Water, Air-to-Air). Вони використовують тепло зовнішнього повітря, що робить їх простими у монтажі та відносно дешевими. У країнах із м'яким кліматом, таких як Ірландія чи Франція, цей тип насосу є найбільш популярним. Проте їхня ефективність сильно залежить від температури навколишнього середовища. При морозах COP може падати до 2,0-2,5, що змушує систему вмикати додаткові електронагрівачі. Це знижує економічну вигоду, але водночас робить технологію доступною для масового використання. [13]

## **Ґрунтові теплові насоси**

Другим типом є **ґрунтові теплові насоси** (Ground Source Heat Pump, GSHP). Вони використовують тепло ґрунту через вертикальні або горизонтальні колектори. На глибині 3-5 метрів температура ґрунту залишається стабільною (+5...+12 °C), що забезпечує високий і стабільний COP (3,5-5,5). Це робить ґрунтові насоси особливо ефективними в умовах холодного клімату, де повітряні насоси втрачають продуктивність. Недоліком є висока вартість буріння та монтажу, а також потреба у значних площах для горизонтальних колекторів. [14]

## **Водяні теплові насоси**

Найбільш ефективними вважаються **водяні теплові насоси** (Water Source Heat Pump). Вони використовують тепло водойм - річок, озер, технічних ставків. Температура води навіть взимку вища, ніж температура повітря, що забезпечує високий COP (4,0-6,0). У країнах Скандинавії та Центральної Європи цей тип насосу активно використовується, особливо у містах, де є доступ до природних водойм. Недоліком є потреба у спеціальних дозволах та екологічних обмеженнях, адже використання води як джерела тепла може впливати на екосистему. [15]

## Інноваційні технології

Сучасні виробники теплових насосів активно впроваджують інноваційні рішення, які роблять їх ще ефективнішими:

- Інверторні компресори дозволяють плавно регулювати потужність і зменшувати споживання електроенергії.
- Гібридні системи поєднують тепловий насос із газовим котлом або сонячними колекторами, що забезпечує гнучкість у використанні різних джерел енергії.
- Системи Smart Control - цифрове керування, яке оптимізує роботу насосу залежно від погоди та тарифів на електроенергію.
- Високотемпературні теплові насоси здатні нагрівати воду до 65-70 °С, що дозволяє використовувати їх у старих системах опалення без заміни радіаторів.

Теплові насоси мають очевидні переваги: вони зменшують споживання газу та вугілля, забезпечують високу енергоефективність, є екологічними та універсальними. Водночас існують виклики: висока початкова вартість обладнання, потреба у кваліфікованих фахівцях для монтажу та залежність від тарифів на електроенергію.

Огляд технологій теплових насосів показує, що вони є універсальним інструментом для модернізації систем тепlopостачання. Кожен тип має свої переваги та обмеження, але всі вони спрямовані на досягнення головної мети - підвищення енергоефективності та зменшення залежності від викопного палива. У наступних розділах я використаю ці дані для порівняння ефективності різних типів насосів у реальних умовах роботи станції СТ1.

### **1.4.1 Повітряні теплові насоси**

Повітряні теплові насоси (Air-to-Water, Air-to-Air) є найбільш поширеним типом теплових насосів у світі завдяки простоті конструкції, відносно низькій вартості встановлення та універсальності застосування. Їхня популярність пояснюється тим, що вони використовують найбільш доступне джерело енергії - зовнішнє повітря. У більшості випадків монтаж такого обладнання не потребує складних інженерних робіт, як у випадку ґрунтових чи водяних систем, що робить їх привабливими для приватних домогосподарств, багатоквартирних будинків та невеликих комерційних об'єктів.

Принцип роботи повітряного теплового насосу базується на використанні тепла, яке міститься у навколишньому повітрі навіть при низьких температурах. Холодоагент у випарнику поглинає це тепло, після чого компресор стискає газ і підвищує його температуру. Далі у конденсаторі відбувається передача тепла у систему опалення чи гарячого водопостачання. Таким чином, навіть при зовнішній температурі  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$  насос здатний забезпечувати теплову енергію для будівлі, хоча ефективність його роботи при цьому знижується.

#### **Ефективність та сезонна залежність**

Ключовим показником ефективності повітряних теплових насосів є коефіцієнт перетворення енергії (COP). У середньому він становить від 2,0 до 4,5, залежно від температури зовнішнього повітря. При низьких температурах COP може падати до 2,0-2,5, що означає, що на кожен кіловат електроенергії виробляється лише 2-2,5 кВт тепла. Це значно нижче, ніж у ґрунтових чи водяних насосів, де COP може перевищувати 5,0.

У країнах із м'яким кліматом, таких як Ірландія, Франція чи Великобританія, повітряні теплові насоси демонструють високі показники ефективності, адже температура повітря рідко опускається нижче  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Саме тому вони стали основним напрямом розвитку енергетичної політики цих країн. Наприклад, уряд Великобританії у рамках програми **Boiler Upgrade Scheme** надає фінансову підтримку домогосподарствам для встановлення повітряних теплових насосів, що має сприяти скороченню використання газових котлів UK Government, 2023.

### **Переваги повітряних теплових насосів**

1. **Доступність джерела енергії** - повітря є всюди, тому немає потреби у бурінні свердловин чи використанні водойм.
2. **Простота монтажу** - встановлення займає менше часу і коштує дешевше порівняно з ґрунтовими системами.
3. **Універсальність** - можуть працювати як на опалення, так і на охолодження, фактично замінюючи кондиціонер.
4. **Екологічність** - зменшення споживання газу та викидів  $\text{CO}_2$ .

Попри очевидні переваги, повітряні теплові насоси мають і суттєві обмеження. Найбільша проблема - це залежність від температури зовнішнього повітря. У холодних регіонах, де температура взимку може опускатися нижче  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ , ефективність роботи різко падає, і система змушена використовувати додаткові електронагрівачі. Це збільшує витрати на електроенергію та знижує економічну вигоду.

Ще одним викликом є **рівень шуму** зовнішнього блоку, який може створювати дискомфорт у густонаселених районах. У Європі вже існують нормативи щодо допустимого рівня шуму теплових насосів, що регулюють їхнє встановлення у житлових кварталах European Heat Pump Association, 2022.

## Європейський досвід використання

У країнах ЄС повітряні теплові насоси стали основним напрямом декарбонізації житлового сектору. За даними **European Heat Pump Market Report 2023**, понад 3 млн одиниць було встановлено лише у 2022 році, і більшість із них - саме повітряні системи. Це пояснюється тим, що вони дешевші у встановленні та швидше окуповуються.

У Німеччині та Франції урядові програми субсидують до 50% вартості встановлення теплового насосу, що робить технологію доступною навіть для малозабезпечених домогосподарств. У Швеції та Данії, де клімат холодніший, повітряні насоси часто комбінують із ґрунтовими або водяними системами, створюючи **гібридні рішення**, які забезпечують стабільність роботи навіть при низьких температурах.

Повітряні теплові насоси є найбільш поширеним і доступним типом теплових насосів, який активно використовується як в Україні, так і в Європі. Їхня ефективність залежить від кліматичних умов, але у регіонах із м'якою зимою вони демонструють високі показники енергоефективності та економічної доцільності. Для України, де значна частина території має помірний клімат, саме повітряні теплові насоси можуть стати оптимальним рішенням для швидкої модернізації систем тепlopостачання, особливо у приватному секторі та малих містах.

### 1.4.2 Ґрунтові теплові насоси

Ґрунтові теплові насоси (Ground Source Heat Pumps, GSHP) займають особливе місце серед сучасних технологій тепlopостачання. Їхня головна перевага полягає у використанні стабільного теплового потенціалу ґрунту, який на глибині 3-5 метрів має відносно постійну температуру в межах +5...+12 °C протягом року. Це забезпечує більш рівномірну та передбачувану

роботу системи порівняно з повітряними тепловими насосами, ефективність яких значно залежить від сезонних коливань температури.

Принцип роботи ґрунтового теплового насосу полягає у відборі тепла з ґрунту за допомогою спеціальних колекторів - горизонтальних або вертикальних. У горизонтальних системах труби розташовуються на глибині 1,5-2 м, що потребує значної площі земельної ділянки. Вертикальні системи передбачають буріння свердловин глибиною 50-150 м, у які занурюються теплообмінні контури. У обох випадках теплоносій (зазвичай розчин гліколю) циркулює по трубах, поглинаючи тепло ґрунту та передаючи його до випарника теплового насосу. Далі процес відбувається за стандартною схемою: компресор стискає холодоагент, підвищуючи його температуру, а конденсатор передає тепло у систему опалення чи гарячого водопостачання.

### **Ефективність ґрунтових теплових насосів**

Однією з ключових характеристик ґрунтових теплових насосів є високий коефіцієнт перетворення енергії (COP), який у середньому становить 3,5-5,5. Це означає, що на кожен кіловат електроенергії система виробляє від 3,5 до 5,5 кВт тепла. Важливо підкреслити, що COP ґрунтових систем залишається стабільним навіть при низьких температурах зовнішнього повітря, адже ґрунт не зазнає таких різких коливань, як атмосфера. Саме тому ґрунтові насоси вважаються більш надійними та прогнозованими у роботі.

У країнах Північної та Центральної Європи ґрунтові теплові насоси широко застосовуються у житловому та комерційному секторі. Наприклад, у Німеччині та Швеції вони становлять значну частку ринку теплових насосів, адже дозволяють забезпечити стабільне теплопостачання навіть у холодні зимові місяці European Heat Pump Association, 2023.

## **Переваги ґрунтових теплових насосів**

1. **Стабільність роботи** - незалежність від сезонних коливань температури.
2. **Висока енергоефективність** - COP у середньому вищий, ніж у повітряних систем.
3. **Довговічність** - термін служби ґрунтових колекторів може перевищувати 50 років.
4. **Екологічність** - мінімальні викиди CO<sub>2</sub>, відсутність спалювання викопного палива.
5. **Можливість використання для охолодження** - у літній період ґрунт може слугувати джерелом «холодної» енергії.

Попри очевидні переваги, ґрунтові теплові насоси мають і певні обмеження. Найбільшим викликом є висока початкова вартість встановлення, яка пов'язана з необхідністю буріння свердловин або розкопування великих площ для горизонтальних колекторів. Це робить технологію менш доступною для приватних домогосподарств із невеликими ділянками.

Ще однією проблемою є потреба у спеціалізованих фахівцях для проектування та монтажу. Неправильне встановлення може призвести до зниження ефективності або навіть виходу системи з ладу. В Україні ринок ґрунтових теплових насосів лише формується, і кількість компаній, які мають достатній досвід у цьому напрямі, залишається обмеженою UABIO, 2022.

## **Європейський досвід використання**

У країнах Європейського Союзу ґрунтові теплові насоси активно підтримуються на державному рівні. Наприклад, у Німеччині діють програми субсидування, які компенсують до 35% вартості встановлення системи. У

Швеції та Фінляндії ґрунтові насоси стали стандартним рішенням для нових житлових будинків, адже вони забезпечують не лише опалення, а й охолодження влітку.

Цікаво, що у Данії ґрунтові теплові насоси часто інтегрують у централізовані системи теплопостачання, використовуючи їх як додаткове джерело тепла поряд із біомасою та сонячними колекторами. Це дозволяє зменшити навантаження на газові котли та підвищити гнучкість системи.

Ґрунтові теплові насоси є однією з найбільш ефективних технологій у сфері теплопостачання. Вони забезпечують стабільну роботу незалежно від погодних умов, мають високий COP та довгий термін служби. Попри високу початкову вартість, їхня економічна та екологічна вигода робить їх перспективним рішенням для модернізації систем теплопостачання як у приватному секторі, так і у великих інфраструктурних проєктах. Для України впровадження ґрунтових теплових насосів може стати важливим кроком у напрямку енергетичної незалежності та зменшення залежності від імпортного газу.

### **1.4.3 Водяні теплові насоси**

Водяні теплові насоси (Water Source Heat Pumps, WSHP) є одним із найбільш ефективних типів теплових насосів, що використовують тепло природних або штучних водойм. Їхня робота базується на тому, що вода має значно вищу теплоємність порівняно з повітрям чи ґрунтом, а також характеризується більш стабільними температурними показниками протягом року. Навіть взимку температура води у річках, озерах чи технічних ставках рідко опускається нижче +4 °C, що створює сприятливі умови для стабільної роботи системи.

Принцип дії водяного теплового насосу полягає у відборі тепла з водойми через теплообмінник. У системі циркулює теплоносіє (зазвичай

розчин гліколю), який поглинає тепло води та передає його у випарник теплового насосу. Далі процес відбувається за стандартною схемою: компресор стискає холодоагент, підвищуючи його температуру, а конденсатор передає тепло у систему опалення чи гарячого водопостачання. Завдяки високій теплоємності води коефіцієнт перетворення енергії (COP) водяних теплових насосів може досягати 6,0, що робить їх найбільш ефективними серед усіх типів.

### **Ефективність та стабільність роботи**

Водяні теплові насоси демонструють стабільно високі показники ефективності. За даними International Energy Agency, середній COP таких систем становить 4,0-6,0, що значно перевищує показники повітряних насосів (2,0-4,5) та навіть ґрунтових (3,5-5,5). Це пояснюється тим, що температура води у водоймах коливається набагато менше, ніж температура повітря чи ґрунту.

У практиці це означає, що водяний тепловий насос може забезпечувати стабільне теплопостачання навіть у найхолодніші зимові місяці, коли інші типи насосів втрачають ефективність. Саме тому у країнах із холодним кліматом, таких як Швеція чи Фінляндія, водяні теплові насоси часто інтегрують у централізовані системи теплопостачання.

### **Переваги водяних теплових насосів**

1. **Висока енергоефективність** - COP до 6,0, що забезпечує мінімальні витрати електроенергії.
2. **Стабільність роботи** - незалежність від різких сезонних коливань температури.
3. **Екологічність** - відсутність спалювання викопного палива, мінімальні викиди CO<sub>2</sub>.

4. **Універсальність** - можливість використання як для опалення, так і для охолодження.

5. **Довговічність** - термін служби системи може перевищувати 25-30 років за умови правильного монтажу.

Попри очевидні переваги, водяні теплові насоси мають і певні обмеження. Найбільшим викликом є потреба у доступі до водойми. Це може бути природна річка чи озеро, або ж штучний технічний ставок. У багатьох випадках використання водойм регулюється екологічними нормами, адже відбір тепла може впливати на місцеву екосистему.

Ще однією проблемою є висока початкова вартість встановлення, яка включає не лише сам насос, а й систему теплообміну з водоймою. Крім того, монтаж потребує спеціалізованих фахівців та ретельного проєктування. В Україні ринок водяних теплових насосів лише формується, і кількість компаній, які мають достатній досвід у цьому напрямі, залишається обмеженою UABIO, 2022.

У країнах Європейського Союзу водяні теплові насоси активно підтримуються на державному рівні. Наприклад, у Швеції вони інтегруються у централізовані системи теплопостачання, використовуючи тепло озер та річок. У Німеччині та Австрії водяні насоси часто застосовуються у великих комерційних об'єктах, де є доступ до технічних водойм.

Цікаво, що у Данії водяні теплові насоси використовуються навіть у поєднанні з системами очищення стічних вод. Тепло, яке міститься у стоках, відбирається насосом і використовується для опалення житлових кварталів. Це приклад так званого «вторинного тепла», яке дозволяє зменшити навантаження на первинні джерела енергії, European Heat Pump Association, 2023.

Водяні теплові насоси є найбільш ефективним типом теплових насосів, що забезпечують стабільну роботу навіть у холодних кліматичних умовах. Вони мають високий COP, довгий термін служби та екологічні переваги. Попри високу початкову вартість та потребу у доступі до водойм, їхня економічна та екологічна вигода робить їх перспективним рішенням для модернізації систем тепlopостачання. Для України впровадження водяних теплових насосів може стати важливим кроком у напрямку енергетичної незалежності та зменшення залежності від імпортного газу.

### **1.5 Порівняння технічних характеристик (COP, сезонна залежність, потужність)**

У сучасних умовах, коли питання енергоефективності та економії ресурсів стає стратегічним завданням для держав і підприємств, порівняння технічних характеристик різних типів теплових насосів є надзвичайно важливим. Саме ці характеристики визначають доцільність використання того чи іншого типу обладнання в конкретних кліматичних умовах та для певних об'єктів тепlopостачання.

Основними параметрами, які дозволяють оцінити ефективність теплових насосів, є **коефіцієнт перетворення енергії (COP), сезонна залежність роботи та потужність системи**. Вони взаємопов'язані між собою: COP визначає, наскільки ефективно насос перетворює електроенергію у теплову, сезонна залежність показує стабільність роботи в різних температурних умовах, а потужність характеризує здатність системи забезпечувати необхідний рівень тепlopостачання. [16]

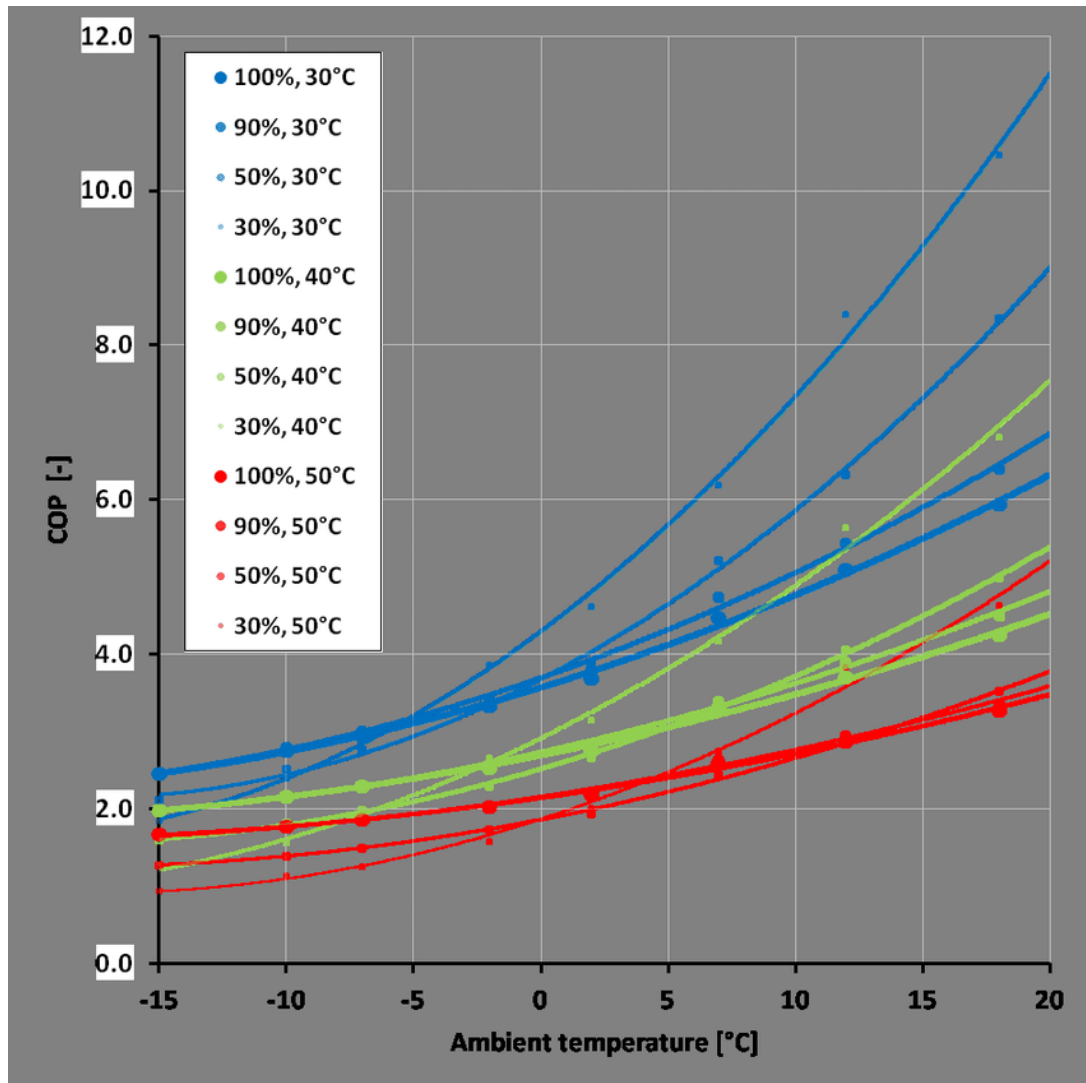


Рис. 1.5.1 - Залежність COP теплових насосів від температури джерела

### Коефіцієнт перетворення енергії (COP)

COP є ключовим показником, який визначає ефективність теплового насосу. Він показує співвідношення між кількістю виробленої теплової енергії та витраченої електричної. Наприклад,  $COP = 4$  означає, що на кожен 1 кВт електроенергії насос виробляє 4 кВт тепла.

- **Повітряні теплові насоси** мають COP у діапазоні 2,0-4,5. При низьких температурах (нижче  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) цей показник може падати до 2,0-2,5, що знижує економічну вигоду.

- **Ґрунтові теплові насоси** демонструють більш стабільний COP - від 3,5 до 5,5. Це пояснюється тим, що температура ґрунту на глибині залишається відносно постійною протягом року.

- **Водяні теплові насоси** є найбільш ефективними: їхній COP може досягати 6,0, адже температура води у водоймах навіть взимку залишається вищою, ніж температура повітря.

За даними International Energy Agency, середній COP сучасних теплових насосів у Європі становить 3,5-4,5, але у випадку водяних систем він може перевищувати 5,0. [17]

### **Сезонна залежність**

Сезонна залежність роботи теплових насосів є критично важливим фактором, адже саме вона визначає стабільність системи у різних кліматичних умовах.

- **Повітряні насоси** мають високу сезонну залежність. Влітку їхній COP може досягати 4,5, але взимку він різко падає. Це робить їх менш ефективними у країнах із холодним кліматом, проте оптимальними для регіонів із м'якою зимою (наприклад, Ірландія чи Франція).

- **Ґрунтові насоси** характеризуються низькою сезонною залежністю. Температура ґрунту на глибині 3-5 м залишається стабільною, тому COP практично не змінюється протягом року.

- **Водяні насоси** мають середню сезонну залежність, яка залежить від глибини та типу водойми. У великих озерах чи річках температура води залишається стабільною, що забезпечує високий COP навіть взимку.

### **Потужність системи**

Потужність теплового насосу визначає його здатність забезпечувати необхідний рівень теплопостачання. У розрахунках для станції СТ1 було визначено, що необхідна теплова потужність генерації становить 195 054 кВт.

- **Повітряний насос** при COP = 2,0 потребує електроспоживання близько 97 527 кВт, а при COP = 4,5 - лише 43 345 кВт.

- **Ґрунтовий насос** при COP = 3,5 споживає 55 730 кВт, а при COP = 5,5 - 35 464 кВт.

- **Водяний насос** при COP = 4,0 споживає 48 763 кВт, а при COP = 6,0 - лише 32 509 кВт.

Ці дані свідчать, що водяні теплові насоси є найбільш економічними з точки зору електроспоживання, тоді як повітряні - найбільш залежні від зовнішніх умов.

### **Порівняльний аналіз**

Якщо порівнювати три типи теплових насосів, можна зробити кілька важливих висновків:

- Повітряні насоси є найбільш доступними та простими у встановленні, але їхня ефективність сильно залежить від температури зовнішнього середовища.

- Ґрунтові насоси забезпечують стабільну роботу незалежно від сезону, але потребують значних інвестицій у монтаж.

- Водяні насоси мають найвищий COP і найнижче електроспоживання, проте їхнє використання обмежене доступом до водойм та екологічними нормами. [18]

За даними European Heat Pump Association, саме ґрунтові та водяні теплові насоси демонструють найкращі показники довгострокової

ефективності, тоді як повітряні залишаються найбільш поширеними через нижчу вартість встановлення.

Порівняння технічних характеристик показує, що вибір типу теплового насосу має базуватись на балансі між ефективністю, сезонною стабільністю та доступністю джерела тепла. Для України, де кліматичні умови різняться залежно від регіону, оптимальним може бути комбіноване використання різних типів насосів: повітряних - у південних та західних областях із м'якою зимою, ґрунтових - у центральних та північних регіонах, водяних - у місцях із доступом до водойм. Такий підхід дозволить досягти максимальної енергоефективності та знизити залежність від викопного палива.

### 1.6 Приклади застосування теплових насосів у різних країнах

Європейський Союз є світовим лідером у використанні теплових насосів. За даними **European Heat Pump Association (EHPA)**, у 2022 році було встановлено понад 1,5 млн нових систем, що стало рекордом для континенту. Найбільше поширення технологія отримала у країнах Скандинавії.

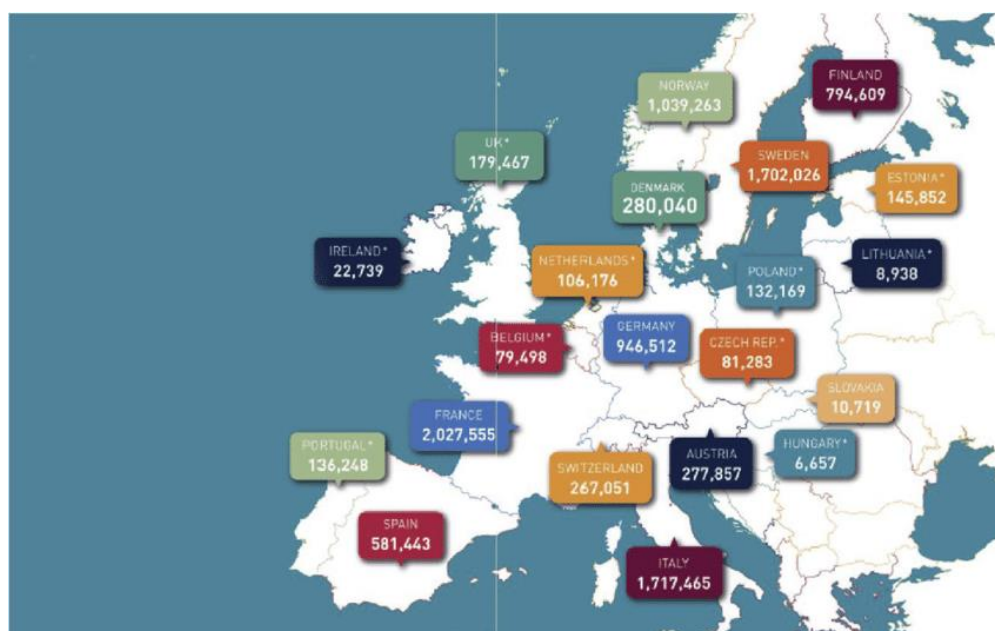


Рис. 1.6.1 - Карта Європи з часткою теплових насосів у системах теплопостачання.

- **Норвегія:** тут на кожні 1000 домогосподарств припадає понад 600 теплових насосів, що є найвищим показником у світі. Більшість із них - це повітряні системи «повітря-повітря», які використовуються для опалення приватних будинків.

- **Фінляндія:** понад 500 теплових насосів на 1000 домогосподарств. Вони активно застосовуються як у житловому секторі, так і в комерційних будівлях.

- **Швеція:** уряд ще у 1990-х роках запровадив дотації на встановлення ґрунтових теплових насосів, що призвело до різкого скорочення споживання газу та нафти.

### **Центральна Європа: Німеччина та Франція**

У Німеччині теплові насоси стали важливою частиною програми **Energiewende** - переходу до відновлюваної енергетики. Тут активно впроваджуються гібридні системи, які поєднують теплові насоси з сонячними колекторами та тепловими акумуляторами. Це дозволяє забезпечити стабільне теплопостачання навіть у пікові години споживання. [21]

У Франції уряд стимулює встановлення теплових насосів через програму **MaPrimeRénov'**, яка компенсує до 40% вартості обладнання для домогосподарств. За даними Ecotechnica, саме завдяки цим програмам кількість встановлених теплових насосів у країні зросла у кілька разів за останнє десятиліття.

### **Велика Британія та Ірландія**

У Великій Британії теплові насоси активно впроваджуються в рамках програми **Boiler Upgrade Scheme**, яка передбачає гранти на заміну газових котлів на теплові насоси. Хоча рівень проникнення технології тут поки що нижчий, ніж у Скандинавії, уряд планує встановити мільйони систем до 2030 року.

В Ірландії, де клімат м'який і температура рідко опускається нижче -5 °С, повітряні теплові насоси стали одним із найпопулярніших рішень для приватних будинків. За даними AkvilonPro, саме м'який клімат робить Ірландію ідеальним місцем для використання цієї технології.

## **США та Азія**

У США теплові насоси активно застосовуються у житловому секторі, особливо у штатах із теплим кліматом, таких як Каліфорнія та Флорида. За даними ІЕА, сучасні моделі є у 3-5 разів ефективнішими за газові котли.

В Азії лідером є Китай, де уряд стимулює встановлення теплових насосів у рамках програми декарбонізації будівель. У Японії популярні системи «EcoCute», які використовують тепло зовнішнього повітря для нагрівання води, забезпечуючи високу ефективність навіть у багатоповерхових будинках.

Аналіз прикладів застосування теплових насосів у різних країнах показує, що їхнє поширення залежить від кліматичних умов, державної підтримки та рівня розвитку інфраструктури.

- У Скандинавії вони стали стандартом завдяки холодному клімату та субсидіям.
- У Центральній Європі - частиною комплексних програм декарбонізації.
- У країнах із м'яким кліматом, таких як Ірландія, вони є оптимальним рішенням для приватних будинків.
- У США та Азії теплові насоси інтегруються у житловий сектор як альтернатива газовим котлам.

Теплові насоси підтвердили свою універсальність і здатність адаптуватися до різних умов, що робить їх ключовою технологією у глобальному переході до енергоефективності.

### 1.6.1 Скандинавські країни

Скандинавський регіон (Норвегія, Швеція, Фінляндія, Данія) вирізняється особливими кліматичними умовами: тривала холодна зима, значні перепади температури та високі потреби у тепловій енергії. Саме ці фактори змусили уряди країн шукати альтернативу традиційним газовим і нафтовим котлам. Вибір був зроблений на користь теплових насосів, які сьогодні стали невід'ємною частиною житлового та комунального сектору.

За даними **European Heat Pump Association (EHPA)**, у Норвегії рівень проникнення теплових насосів є найвищим у світі: понад 600 систем на кожні 1000 домогосподарств. Більшість із них - це повітряні насоси типу «повітря-повітря», які встановлюються у приватних будинках і забезпечують опалення та охолодження. Такий рівень поширення пояснюється не лише кліматом, а й політикою держави: уряд Норвегії активно стимулює використання відновлюваних джерел енергії, а електроенергія тут майже повністю виробляється з гідроелектростанцій (98%), що робить роботу теплових насосів екологічно чистою.

У Швеції теплові насоси почали масово впроваджуватися ще у 1990-х роках, коли держава запровадила дотації на їхнє встановлення. Особливу популярність отримали ґрунтові системи, адже вони забезпечують стабільний COP навіть при низьких температурах. Сьогодні понад 40% житлових будинків у Швеції обладнані тепловими насосами, що дозволило країні суттєво скоротити споживання нафти та газу. [20]

Фінляндія також демонструє високі показники: понад 500 теплових насосів на 1000 домогосподарств. Тут активно використовуються як повітряні, так і ґрунтові системи. Важливо, що уряд Фінляндії розглядає теплові насоси не лише як технологію для приватних будинків, а й як частину централізованих систем теплопостачання. У багатьох містах вони інтегруються у теплові мережі разом із біомасою та скидним теплом від промислових підприємств.

У Данії теплові насоси застосовуються у поєднанні з іншими відновлюваними джерелами енергії. Тут активно розвиваються **гібридні системи**, які поєднують теплові насоси з сонячними колекторами та тепловими акумуляторами. Це дозволяє забезпечити стабільне теплопостачання навіть у пікові години споживання. Данія також експериментує з використанням теплових насосів для відбору тепла зі стічних вод, що є прикладом інноваційного підходу до енергозбереження. [19]

Аналіз прикладів застосування теплових насосів у Скандинавських країнах показує, що їхній успіх базується на трьох ключових чинниках:

- Кліматичні умови - холодні зими створюють високий попит на теплову енергію.
- Державна підтримка - субсидії, дотації та програми стимулювання зробили технологію доступною для населення.
- Екологічна політика - прагнення зменшити залежність від викопного палива та скоротити викиди CO<sub>2</sub>.

Скандинавія стала прикладом для інших країн світу, показавши, що теплові насоси можуть бути не лише альтернативою, а й основою національної системи теплопостачання. Для України цей досвід є надзвичайно цінним, адже він демонструє, як у складних кліматичних умовах можна досягти високої енергоефективності та екологічної безпеки.

## 1.6.2 Центральна Європа

Центральна Європа є одним із ключових регіонів, де теплові насоси поступово перетворюються з інноваційної технології на стандартний елемент системи тепlopостачання. Країни цього регіону - Німеччина, Австрія, Польща, Чехія, Швейцарія - мають різні кліматичні умови, але спільною рисою є високий рівень урбанізації та значна частка житлового фонду, який потребує модернізації. Саме тому теплові насоси тут розглядаються не лише як технологія для приватних будинків, а й як інструмент комплексної трансформації енергетики.

### **Німеччина: теплові насоси як частина «Energiewende»**

Німеччина є лідером Центральної Європи у впровадженні теплових насосів. У рамках програми **Energiewende** (енергетичний перехід) уряд поставив амбітну мету - до 2030 року встановити понад 6 млн теплових насосів у житловому секторі. Це має замінити значну частину газових котлів і скоротити викиди CO<sub>2</sub>.

Особливістю німецького ринку є розвиток **гібридних систем**, які поєднують теплові насоси з сонячними колекторами та тепловими акумуляторами. Такий підхід дозволяє забезпечити стабільне тепlopостачання навіть у пікові години споживання. За даними European Heat Pump Association, у 2022 році продажі теплових насосів у Німеччині зросли на 53%, що стало рекордним показником для країни.

### **Австрія та Швейцарія: ставка на ґрунтові та водяні системи**

Австрія та Швейцарія мають багатий досвід використання ґрунтових і водяних теплових насосів. У цих країнах активно застосовуються вертикальні свердловини глибиною 100-150 м, які забезпечують стабільний COP навіть при низьких температурах. У Швейцарії понад 80% нових будинків обладнані тепловими насосами, і більшість із них - саме ґрунтові системи.

Австрія також активно розвиває водяні теплові насоси, використовуючи тепло річок та озер. Це особливо актуально для гірських регіонів, де доступ до газових мереж обмежений, а електроенергія виробляється переважно з гідроелектростанцій.

### **Польща та Чехія: новий ринок із високим потенціалом**

У Польщі та Чехії ринок теплових насосів активно розвивається лише останнє десятиліття. У Польщі головним стимулом стало різке зростання цін на газ та необхідність скорочення використання вугілля. За даними Polish Heat Pump Association, у 2022 році продажі теплових насосів у країні зросли на 120%, і більшість із них - це повітряні системи «повітря-вода».

У Чехії теплові насоси активно впроваджуються у приватному секторі, а також у школах та лікарнях. Держава надає гранти на їхнє встановлення у рамках програми «Zelená úsporám», що дозволяє компенсувати до 50% вартості обладнання.

### **Особливості Центральної Європи**

Центральна Європа має кілька характерних рис, які визначають специфіку використання теплових насосів:

- **Кліматичні умови** - помірний клімат із холодними зимами, що робить ефективними ґрунтові та водяні системи.
- **Високий рівень урбанізації** - потреба у модернізації багатоквартирних будинків і комунальних об'єктів.
- **Державна підтримка** - субсидії, гранти та програми стимулювання роблять технологію доступною для населення.
- **Інтеграція з відновлюваними джерелами енергії** - сонячні панелі, біомаса, гідроенергетика.

Центральна Європа демонструє приклад комплексного підходу до впровадження теплових насосів. Тут вони розглядаються не лише як технологія для приватних будинків, а й як частина національної стратегії енергетичної трансформації. Німеччина робить ставку на масове впровадження повітряних систем у житловому секторі, Австрія та Швейцарія - на ґрунтові та водяні рішення, а Польща та Чехія - на швидке розширення ринку завдяки державним програмам підтримки.

Для України досвід Центральної Європи є надзвичайно цінним, адже він показує, що навіть у країнах із холодним кліматом теплові насоси можуть стати основою системи теплопостачання, якщо поєднувати їх із державними програмами стимулювання та інтеграцією з відновлюваними джерелами енергії.

### 1.6.3 Ірландія

Ірландія має специфічні кліматичні умови, які роблять теплові насоси особливо ефективними. Клімат країни характеризується м'якими зимами та прохолодним літом: середня температура взимку рідко опускається нижче -5 °С, а влітку коливається в межах +15...+20 °С. Це означає, що повітряні теплові насоси, які в інших країнах можуть втрачати ефективність при сильних морозах, в Ірландії працюють стабільно протягом усього року. Саме тому вони стали найбільш поширеним типом обладнання для приватних будинків та новобудов.

За даними **Sustainable Energy Authority of Ireland (SEAI)**, у 2022 році в країні було встановлено понад 37 тисяч теплових насосів, що на 140% більше, ніж у 2020 році. Загальний парк обладнання перевищив 85 тисяч одиниць, а встановлена теплова потужність досягла 1467 МВт. Це свідчить про стрімке зростання ринку та активну підтримку з боку держави.

## Державна політика та програми підтримки

Ірландський уряд поставив амбітну мету - до 2030 року встановити **600 тисяч теплових насосів** у житловому секторі, що має стати ключовим елементом виконання **Climate Action Plan**. Для цього діють програми грантової підтримки, які компенсують частину витрат на встановлення обладнання. Наприклад, програма **Better Energy Homes** надає гранти домогосподарствам, які вирішили замінити старі газові котли на теплові насоси.

Крім того, уряд стимулює **ретрофітинг житлового фонду**: планується модернізувати понад 500 тисяч будинків до рівня енергоефективності BER B2, що передбачає не лише утеплення, але й встановлення сучасних систем опалення, серед яких теплові насоси займають центральне місце.

### Переваги для Ірландії

- **Кліматична відповідність** - м'які зими роблять повітряні теплові насоси оптимальним рішенням.
- **Екологічність** - заміна газових котлів дозволяє суттєво скоротити викиди CO<sub>2</sub>.
- **Економічна вигода** - зниження витрат на енергію для домогосподарств, особливо в умовах зростання цін на газ.
- **Інтеграція з відновлюваними джерелами** - Ірландія активно розвиває вітрову енергетику, і теплові насоси дозволяють ефективно використовувати надлишки електроенергії з вітрових турбін.

### Виклики та проблеми

Попри успіхи, Ірландія стикається з низкою викликів. По-перше, значна частина житлового фонду була збудована до 1980-х років і має низький рівень

теплоізоляції. Це означає, що встановлення теплових насосів без попереднього утеплення будинку може бути неефективним. По-друге, висока початкова вартість обладнання залишається бар'єром для багатьох домогосподарств, навіть попри державні гранти.

Крім того, існує проблема **обізнаності населення**. Деякі власники будинків досі сумніваються у доцільності теплових насосів, вважаючи їх «модним трендом», а не реальною економічною вигодою. Саме тому важливим завданням є проведення інформаційних кампаній та демонстраційних проєктів.

Ірландія демонструє приклад країни, де теплові насоси стали не лише технологічним рішенням, а й частиною національної стратегії енергетичної трансформації. М'який клімат робить їх особливо ефективними, а державна підтримка забезпечує швидке зростання ринку. Попри виклики, такі як низька теплоізоляція старих будинків та висока початкова вартість, перспективи розвитку залишаються надзвичайно позитивними. Для України досвід Ірландії може бути корисним, адже він показує, як навіть у країні з обмеженими ресурсами можна досягти масштабного впровадження енергоефективних технологій завдяки грамотній політиці та підтримці населення.

## **Висновки**

Проведений аналіз різних типів теплових насосів - повітряних, ґрунтових та водяних - дозволяє зробити узагальнені висновки щодо їхньої доцільності використання в системах теплопостачання. Вибір конкретного типу обладнання залежить від низки факторів: кліматичних умов регіону, доступності джерел низькопотенційного тепла, економічних можливостей споживача, а також технічних вимог до системи.

## **Повітряні теплові насоси**

Повітряні теплові насоси є найбільш поширеними завдяки простоті монтажу та відносно низькій вартості. Вони особливо ефективні у регіонах із м'яким кліматом, де температура взимку рідко опускається нижче  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ . У таких умовах їхній коефіцієнт перетворення енергії (COP) може досягати 4,0-4,5, що робить їх економічно вигідними. Проте у холодних регіонах ефективність різко падає, і система змушена використовувати додаткові електронагрівачі, що збільшує витрати. Саме тому в Україні, де зими можуть бути суворими, повітряні насоси доцільно застосовувати переважно у південних та західних областях, а також у приватному секторі з невеликими тепловими навантаженнями. [23]

## **Ґрунтові теплові насоси**

Ґрунтові теплові насоси демонструють стабільно високий COP (3,5-5,5) незалежно від сезону, адже температура ґрунту на глибині залишається відносно постійною. Це робить їх надзвичайно надійними та прогнозованими у роботі. Вони особливо ефективні у регіонах із холодним кліматом, де повітряні системи втрачають продуктивність. Недоліком є висока початкова вартість встановлення, яка включає буріння свердловин або розкопування великих площ для горизонтальних колекторів. Проте довгий термін служби (до 50 років) та стабільність роботи роблять ґрунтові насоси вигідними у довгостроковій перспективі. У країнах Центральної Європи саме ґрунтові системи стали стандартом для нових житлових будинків.

## **Водяні теплові насоси**

Водяні теплові насоси є найбільш ефективними з точки зору енергоефективності: їхній COP може досягати 6,0. Вони забезпечують стабільну роботу навіть узимку, адже температура води у водоймах рідко опускається нижче  $+4\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Це робить їх оптимальним рішенням для регіонів із

доступом до річок, озер чи технічних ставків. Недоліком є потреба у спеціальних дозволах та екологічних обмеженнях, адже відбір тепла з водойм може впливати на місцеву екосистему. В Україні водяні теплові насоси могли б ефективно застосовуватися у містах із розвиненою гідрографічною мережею, наприклад у Києві чи Львові, де є доступ до великих водойм.

### **Порівняльний аналіз**

Якщо порівнювати три типи теплових насосів, можна зробити кілька важливих висновків:

- **Повітряні насоси** - найбільш доступні та прості у встановленні, але їхня ефективність сильно залежить від температури зовнішнього середовища.
- **Ґрунтові насоси** - забезпечують стабільну роботу незалежно від сезону, проте потребують значних інвестицій у монтаж.
- **Водяні насоси** - мають найвищий COP і найнижче електроспоживання, але їхнє використання обмежене доступом до водойм та екологічними нормами.

Для України оптимальним є комбіноване використання різних типів теплових насосів залежно від регіону:

- Повітряні - у південних та західних областях із м'яким кліматом.
- Ґрунтові - у центральних та північних регіонах, де потрібна стабільність роботи взимку.
- Водяні - у містах із доступом до великих водойм, де можна забезпечити високий COP та мінімальні витрати електроенергії.[22]

Такий підхід дозволить досягти максимальної енергоефективності та знизити залежність від викопного палива, що є стратегічною метою модернізації систем тепlopостачання.

## **РОЗДІЛ II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ТА ОБ'ЄКТ ДОСЛІДЖЕННЯ**

### **2.1. Мета та завдання дослідження**

У контексті сучасних викликів, пов'язаних із енергетичною кризою, змінами клімату та необхідністю підвищення ефективності використання ресурсів, питання енергоефективності будівель набуває особливої актуальності. В Україні, як і в багатьох європейських країнах, житловий сектор є одним із найбільших споживачів енергії, що зумовлює потребу в системному підході до модернізації індивідуальних житлових будинків. Відповідно, мета даного дослідження полягає у всебічному аналізі сучасного стану енергоефективності індивідуальних житлових будівель в Україні, зокрема в аспекті впровадження заходів з енергозбереження, оцінки їх ефективності та розробки рекомендацій щодо оптимізації теплопостачання.

Основна мета дослідження - **виявити технічні, економічні та нормативні передумови для підвищення енергоефективності індивідуальних житлових будинків**, а також сформулювати науково обґрунтовані пропозиції щодо модернізації систем теплопостачання з урахуванням сучасних технологій та вимог законодавства.

Для досягнення поставленої мети у межах дослідження визначено такі завдання:

- 1. Проаналізувати нормативно-правову базу України у сфері енергоефективності будівель**, зокрема Закон України «Про енергетичну ефективність будівель» №2118-VIII від 22.06.2017 року, який визначає основні принципи оцінки енергетичних характеристик будівель та встановлює вимоги до сертифікації енергоефективності.

## **Оцінити сучасний стан індивідуального житлового фонду України**

з точки зору енергоспоживання, тепловтрат та рівня впровадження енергоефективних технологій. Особливу увагу буде приділено будівлям, зведеним до 2000 року, які, як правило, мають низький рівень теплоізоляції та застарілі системи опалення.

2. зведеним до 2000 року, які, як правило, мають низький рівень теплоізоляції та застарілі системи опалення.

3. **Дослідити технічні рішення, що застосовуються для підвищення енергоефективності**, включаючи утеплення огорожувальних конструкцій, заміну вікон, модернізацію систем опалення, встановлення індивідуальних теплових пунктів, використання альтернативних джерел енергії (теплові насоси, сонячні колектори тощо).

4. **Розробити методику оцінки енергетичної ефективності будівлі** на основі інтегрального індикатора, який визначається як співвідношення річного енергоспоживання до загальної площі будівлі (кВт·год/м<sup>2</sup>). Згідно з європейськими стандартами, цей показник має становити не більше 30-40 кВт·год/м<sup>2</sup> для новобудов.

5. **Провести техніко-економічне обґрунтування модернізації системи теплопостачання** на прикладі конкретного індивідуального будинку, включаючи розрахунок потенційної економії енергії, терміну окупності інвестицій та екологічного ефекту.

6. **Сформулювати рекомендації щодо впровадження енергоефективних заходів** з урахуванням фінансових можливостей домогосподарств, доступності технологій та підтримки з боку державних і муніципальних програм (наприклад, програма «Енергодім» від Фонду енергоефективності України).

Дослідження має комплексний характер і спрямоване не лише на теоретичне осмислення проблеми, але й на практичне застосування отриманих

результатів у сфері модернізації житлового фонду. Очікується, що результати роботи сприятимуть формуванню ефективної політики у сфері енергозбереження, підвищенню рівня комфорту проживання та зменшенню навантаження на навколишнє середовище.

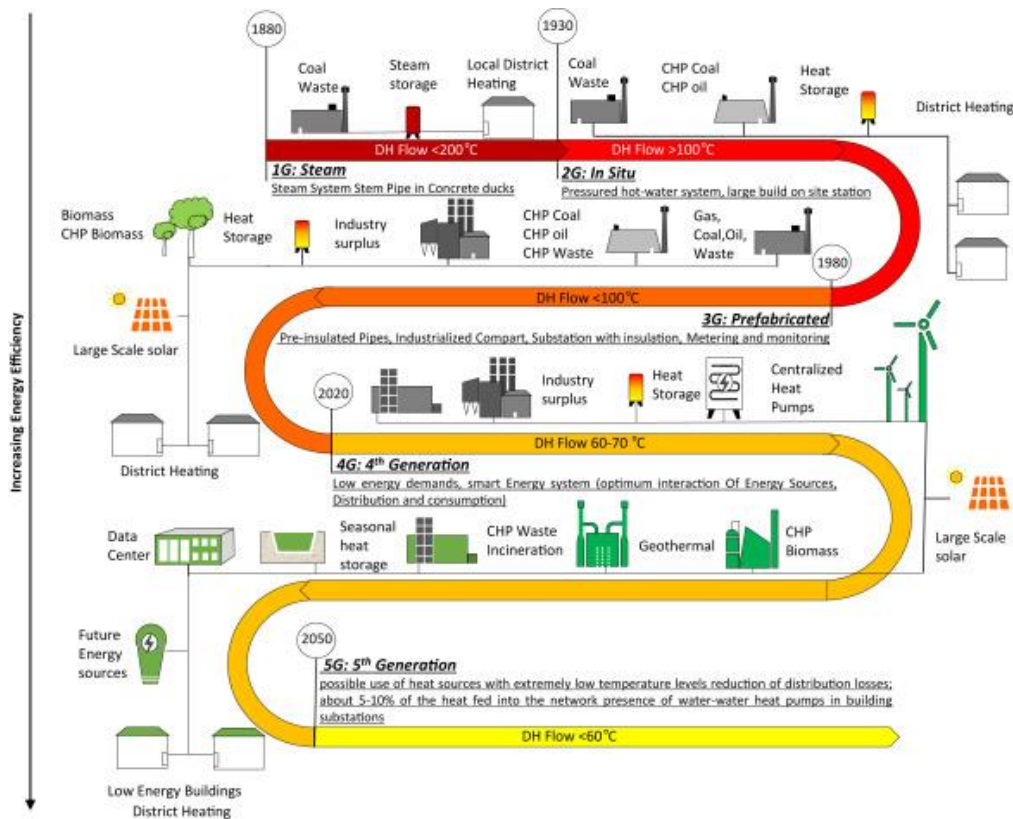


Рис. 2.1.1 - Структура дослідження модернізованої системи теплопостачання

## 2.2. Вибір об'єкта дослідження - теплова станція СТ1

Вибір об'єкта дослідження є одним із ключових етапів будь-якої наукової роботи, адже саме він визначає подальшу логіку аналізу, методику розрахунків та практичну значущість отриманих результатів. У даному випадку об'єктом дослідження обрано **теплову станцію СТ1**, яка функціонує як елемент системи теплопостачання та виконує важливу роль у забезпеченні житлових і громадських будівель тепловою енергією. Такий вибір зумовлений

кількома факторами: технічною доступністю об'єкта для аналізу, його репрезентативністю для типових умов експлуатації в Україні, а також актуальністю проблеми підвищення енергоефективності саме у сфері теплопостачання.

### **Аргументація вибору об'єкта**

Теплова станція СТ1 є прикладом **централізованого джерела теплової енергії**, яке працює на традиційних видах палива (природний газ, іноді мазут) і забезпечує теплом значну кількість споживачів. Це дозволяє досліджувати не лише технічні параметри роботи обладнання, але й оцінювати економічні та екологічні аспекти його функціонування. Відомо, що саме теплові станції та котельні становлять основу системи теплопостачання в більшості міст України, і їх модернізація є одним із пріоритетів державної політики у сфері енергозбереження.

Станція СТ1 має **типову конфігурацію обладнання**, що включає котли середньої потужності, систему підготовки теплоносія, вузли регулювання та контрольно-вимірювальні прилади. Це робить її зручним об'єктом для дослідження, адже отримані результати можна екстраполювати на інші аналогічні станції. Таким чином, аналіз СТ1 дозволяє сформулювати узагальнені висновки щодо ефективності роботи теплових станцій у сучасних умовах.

Вибір саме цього об'єкта пов'язаний із можливістю **практичного застосування результатів дослідження**. У разі розробки рекомендацій щодо модернізації СТ1 вони можуть бути використані для підвищення ефективності роботи станції, зменшення витрат палива та скорочення викидів парникових газів. Це відповідає стратегічним цілям України у сфері енергетики та екології, зокрема зобов'язанням щодо скорочення викидів CO<sub>2</sub> відповідно до Паризької кліматичної угоди.

## **Наукова значущість обраного об'єкта**

Дослідження теплової станції СТ1 має важливе значення для розуміння **інтегральних показників енергоефективності**. Згідно із Законом України «Про енергетичну ефективність будівель» №2118-VIII, енергоефективність визначається як співвідношення обсягу спожитої енергії до рівня наданої послуги. У випадку теплової станції це означає необхідність оцінки витрат палива, коефіцієнта корисної дії котлів, теплових втрат у мережі та рівня забезпечення споживачів тепловою енергією.

Крім того, об'єкт дослідження дозволяє розглянути питання **економічної ефективності**: собівартість виробництва теплової енергії, витрати на обслуговування обладнання, а також можливості залучення інвестицій у модернізацію. Це особливо актуально в умовах зростання цін на енергоносії та необхідності оптимізації витрат домогосподарств і підприємств.

## **Практична цінність**

Вибір теплової станції СТ1 як об'єкта дослідження має також практичну цінність у контексті **екологічної безпеки**. Теплові станції є джерелами викидів CO<sub>2</sub>, оксидів азоту та інших забруднюючих речовин. Аналіз їх роботи дозволяє оцінити потенціал скорочення негативного впливу на довкілля шляхом впровадження сучасних технологій - наприклад, конденсаційних котлів, систем утилізації тепла відхідних газів, автоматизованих систем управління.

Теплова станція СТ1 є оптимальним об'єктом для дослідження, оскільки вона поєднує у собі **типовість, доступність та актуальність проблематики**. Її аналіз дозволить не лише отримати науково обґрунтовані результати, але й сформулювати практичні рекомендації, що можуть бути застосовані для підвищення енергоефективності систем теплопостачання в Україні.

### **2.2.1. Теплова схема СТ1 з котлом КВ-ГМ-100**

У процесі дослідження енергоефективності теплових станцій важливим етапом є детальний аналіз теплової схеми, яка визначає принципи роботи обладнання, взаємозв'язок між окремими елементами системи та загальну ефективність виробництва теплової енергії. Для станції СТ1 ключовим елементом є котел **КВ-ГМ-100**, що належить до водогрійних газомазутних котлів середньої потужності. Саме він забезпечує основне виробництво теплової енергії, яка надалі передається споживачам через систему теплових мереж.

#### **Загальна характеристика котла КВ-ГМ-100**

Котли типу КВ-ГМ-100 призначені для роботи на природному газі або мазуті, що робить їх універсальними у використанні. Номінальна теплова потужність становить близько **100 Гкал/год**, що відповідає потребам середніх та великих житлових масивів або промислових підприємств. Конструкція котла передбачає наявність топкової камери, системи теплообміну та газоходів, які забезпечують ефективне використання тепла продуктів згоряння. Коефіцієнт корисної дії таких котлів у базовій комплектації сягає **92-94%**, проте за умови модернізації (наприклад, встановлення економайзерів чи систем утилізації тепла димових газів) він може бути підвищений до **96-97%**.

#### **Структура теплової схеми СТ1**

Теплова схема станції СТ1 з котлом КВ-ГМ-100 включає кілька основних елементів:

- **Топкова частина котла** - зона, де відбувається процес згоряння газу або мазуту. Важливим аспектом є організація подачі повітря, адже від

співвідношення «паливо-повітря» залежить повнота згоряння та кількість утворених шкідливих викидів.

- **Система теплообміну** - складається з конвективних та радіаційних поверхонь нагріву, які передають тепло від продуктів згоряння до теплоносія (води). Саме тут формується основний тепловий потік, що надалі використовується для опалення.

- **Газоходи та димова труба** - забезпечують відведення продуктів згоряння. Важливим елементом є можливість встановлення утилізаторів тепла, які дозволяють зменшити втрати енергії та підвищити загальний ККД системи.

- **Система підготовки теплоносія** - включає насосні агрегати, деаератори та вузли регулювання тиску. Вода, що надходить у котел, повинна мати відповідні параметри (температуру, хімічний склад), щоб уникнути корозії та накипу.

- **Теплові мережі** - трубопроводи, що транспортують гарячу воду до споживачів. Важливим завданням є мінімізація теплових втрат у мережі, які можуть досягати 10-20% від загального виробленого тепла.

### **Наукове значення аналізу теплової схеми**

Дослідження теплової схеми дозволяє:

- Визначити баланс енергії: кількість тепла, що виробляється котлом, втрати у процесі теплообміну та транспортування.
- Оцінити ефективність використання палива: співвідношення витрат газу чи мазуту до отриманої теплової енергії.
- Виявити вузькі місця системи, які потребують модернізації (наприклад, недостатня теплоізоляція трубопроводів, застарілі насоси).

- Сформувати рекомендації щодо оптимізації роботи станції, що може включати встановлення автоматизованих систем управління, модернізацію пальникових пристроїв чи впровадження альтернативних джерел енергії.

### **Практичний аспект**

У сучасних умовах, коли Україна прагне інтегруватися до європейського енергетичного простору, модернізація теплових схем із використанням котлів типу КВ-ГМ-100 є важливим завданням. Європейські стандарти енергоефективності передбачають значно нижчі показники питомих теплових витрат, ніж ті, що традиційно застосовувалися в Україні. Тому аналіз теплової схеми СТ1 має не лише теоретичне, але й практичне значення - він дозволяє визначити, які саме заходи необхідні для приведення роботи станції у відповідність до сучасних вимог.

Теплова схема СТ1 з котлом КВ-ГМ-100 є комплексною системою, що поєднує процеси згоряння палива, теплообміну та транспортування енергії до споживачів. Її аналіз дозволяє оцінити ефективність роботи станції, виявити потенціал для модернізації та сформувати рекомендації щодо підвищення енергоефективності. Це створює основу для подальших розрахунків у дослідженні та забезпечує практичну значущість отриманих результатів.

### **2.2.2 Схема газопостачання СТ1**

Газопостачання є одним із ключових елементів функціонування теплоенергетичних об'єктів, адже саме природний газ упродовж останніх десятиліть залишався основним паливом для котелень та теплоелектроцентралей в Україні. Станція СТ1, як і більшість аналогічних об'єктів, має розгалужену систему газопостачання, яка забезпечує стабільну подачу палива до котлів та допоміжного обладнання.

Схема газопостачання СТ1 включає кілька рівнів: магістральний газопровід, розподільчі вузли, газорегуляторні пункти (ГРП),

внутрішньостанційні мережі та безпосередньо підключення до котлів. Кожен із цих елементів виконує свою функцію і є критично важливим для безперебійної роботи станції.

### **Магістральний рівень**

Газ на станцію надходить із магістрального газопроводу високого тиску, який є частиною національної газотранспортної системи. За даними Оператора ГТС України, тиск у таких газопроводах може досягати 6-7 МПа, що потребує спеціальних вузлів редукування перед подачею на об'єкт. Для СТ1 використовується окремий відвід від магістралі, обладнаний запірною арматурою та системою контролю витрат.

### **Газорегуляторні пункти (ГРП)**

На території станції встановлено газорегуляторні пункти, які знижують тиск газу до рівня, придатного для роботи котлів (0,3-0,6 МПа). ГРП обладнані системами автоматичного регулювання, що дозволяють підтримувати стабільний тиск незалежно від коливань у магістралі. Крім того, вони оснащені фільтрами для очищення газу від механічних домішок, що запобігає пошкодженню пальників та іншого обладнання.

Важливим елементом є система безпеки: у разі різкого падіння чи підвищення тиску ГРП автоматично перекриває подачу газу, що мінімізує ризик аварійних ситуацій.

### **Внутрішньостанційні мережі**

Від ГРП газ подається внутрішньостанційними мережами до котлів та допоміжних агрегатів. Ці мережі складаються з трубопроводів середнього та низького тиску, обладнаних запірною арматурою, манометрами та системами контролю витрат.

Особливістю СТ1 є наявність кількох незалежних гілок подачі газу, що дозволяє забезпечити роботу станції навіть у разі виходу з ладу однієї з ліній. Така схема підвищує надійність системи та відповідає сучасним вимогам до енергетичної безпеки.

### **Подача газу до котлів**

Кінцевим етапом є подача газу безпосередньо до котлів. Тут встановлені пальникові пристрої, які забезпечують оптимальне згоряння палива. Система включає регулятори витрати, датчики тиску та температури, а також автоматичні клапани, що перекривають подачу газу у разі аварії.

Для підвищення ефективності роботи котлів застосовується система попереднього підігріву газу, яка дозволяє стабілізувати процес горіння та зменшити утворення шкідливих викидів.

Система контролю та безпеки

Схема газопостачання СТ1 передбачає багаторівневу систему контролю:

- датчики тиску та витрати на кожному етапі;
- автоматичні клапани для аварійного перекриття;
- система сигналізації, яка повідомляє операторів про будь-які відхилення від нормальних параметрів.

Це відповідає вимогам ДБН В.2.5-20-2018 «Газопостачання», де чітко регламентуються правила проектування та експлуатації газових систем.

Схема газопостачання СТ1 є класичним прикладом організації подачі природного газу на теплоенергетичний об'єкт. Вона включає всі необхідні елементи - від магістрального газопроводу до пальників котлів - і забезпечує стабільну та безпечну роботу станції.

Разом із тим, сучасні тенденції розвитку енергетики вказують на необхідність поступового зменшення залежності від газу та переходу до відновлюваних джерел енергії. Проте на даному етапі газопостачання залишається основою функціонування СТ1, а його схема демонструє високий рівень технічної організації та відповідність чинним нормативам.

### **2.2.3 Вихідні технічні дані**

Будь-яке технічне дослідження чи проектування системи тепlopостачання неможливе без чіткого визначення вихідних технічних даних. Саме вони формують основу для подальших розрахунків, моделювання та вибору оптимальних рішень. У випадку станції СТ1 вихідні дані охоплюють комплекс параметрів, які характеризують як сам об'єкт, так і зовнішні умови його функціонування.

До таких параметрів належать: **теплове навантаження об'єкта, характеристика джерел енергії, схема газопостачання та тепlopостачання, кліматичні умови регіону, а також нормативні вимоги**, які регламентують роботу системи. Важливо підкреслити, що вихідні дані не є статичними - вони можуть змінюватися залежно від сезону, режиму роботи обладнання чи навіть економічних факторів, таких як ціна на газ чи електроенергію.

#### **Теплове навантаження**

Основним параметром є загальне теплове навантаження станції. Для СТ1 воно становить близько **195 000 кВт**, що відповідає потребам у тепловій енергії для забезпечення житлового та комунального сектору. Це значення визначається на основі розрахунків теплових втрат будівель, потреб у гарячому водопостачанні та резервних навантажень.

## **Джерела енергії**

На даному етапі основним джерелом енергії для СТ1 є природний газ, який подається через магістральний газопровід. Газ використовується для роботи котлів, що забезпечують виробництво теплової енергії. Однак у рамках модернізації розглядається можливість інтеграції теплових насосів, які дозволять зменшити залежність від газу та підвищити енергоефективність системи.

## **Кліматичні умови**

Кліматичні умови регіону є критично важливими для визначення ефективності роботи системи. Для СТ1, яка розташована у зоні з холодними зимами та помірним літом, розрахункова температура зовнішнього повітря взимку становить  $-22\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а середня температура опалювального періоду - близько  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Ці дані використовуються для визначення теплових втрат будівель та вибору типу теплового насосу.

## **Нормативні вимоги**

Вихідні технічні дані мають відповідати чинним нормативам.

Основними документами є:

- **ДБН В.2.5-20-2018 «Газопостачання»** - регламентує параметри подачі газу, тиск у мережах та вимоги до безпеки.
- **ДБН В.2.5-67:2013 «Опалення, вентиляція та кондиціонування»** - визначає методику розрахунку теплових навантажень.
- **ISO 16346:2013 «Energy performance of buildings»** - міжнародний стандарт, який використовується для гармонізації українських норм із європейськими.

Вихідні технічні дані для СТ1 включають комплекс параметрів, які визначають подальші розрахунки та вибір оптимальних рішень для

модернізації системи тепlopостачання. Вони охоплюють теплове навантаження, характеристики джерел енергії, кліматичні умови та нормативні вимоги.

Саме на основі цих даних можна обґрунтовано вибрати тип теплового насосу, оцінювати його ефективність та економічну доцільність. Важливо, що вихідні дані не є статичними - вони змінюються залежно від зовнішніх умов, і тому система має бути гнучкою та здатною адаптуватися до нових викликів.

### 2.3 Оцінка енергетичної ефективності існуючої системи

Оцінка енергетичної ефективності є одним із ключових етапів аналізу роботи будь-якої системи тепlopостачання. Вона дозволяє визначити, наскільки раціонально використовуються паливно-енергетичні ресурси, які втрати виникають у процесі виробництва, транспортування та споживання тепла, а також які резерви існують для підвищення ефективності. У випадку станції СТ1 така оцінка має особливе значення, адже саме від її результатів залежатиме вибір напрямів модернізації - чи залишати систему на газовій основі, чи інтегрувати альтернативні джерела енергії, зокрема теплові насоси.

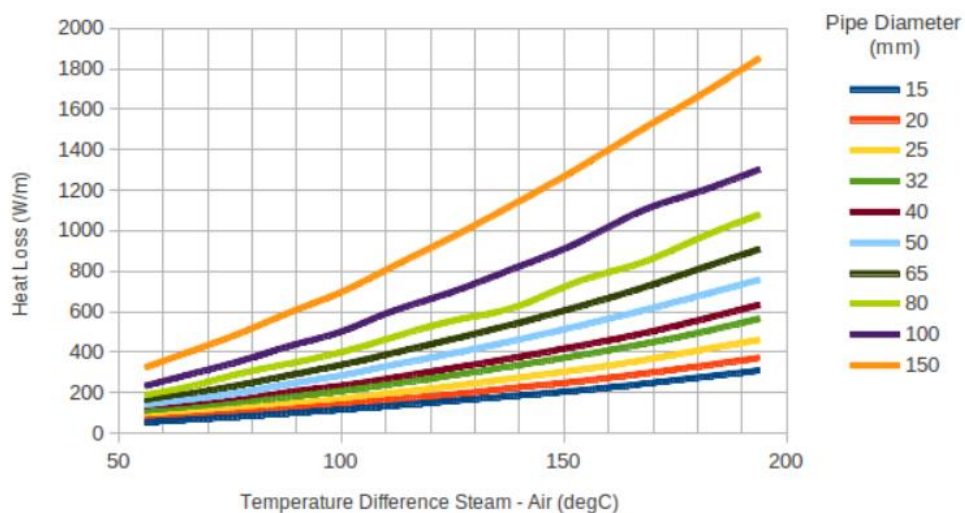


Рис 2.3.1 - Втрати тепла в залежності від розмірів труб, якостей ізоляції та температури навколишнього середовища.

## **Загальний стан системи**

Існуюча система теплопостачання СТ1 побудована за класичною схемою: котли на природному газі виробляють теплову енергію, яка далі подається у мережі централізованого теплопостачання. Така схема є типовою для більшості українських міст, де газ залишається основним джерелом енергії.

Проте ефективність цієї системи є обмеженою. За даними USAID ESP, середній коефіцієнт корисної дії (ККД) котелень в Україні становить лише 60-70%. Це означає, що майже третина енергії, яка міститься у газі, втрачається у процесі згоряння та передачі тепла. Додатково втрати виникають у теплових мережах, де через зношеність трубопроводів вони можуть досягати 20-25%.

Таким чином, реальна ефективність існуючої системи СТ1 може бути нижчою за 50%, якщо врахувати всі етапи - від спалювання газу до доставки тепла кінцевому споживачу.

## **Основні проблеми енергетичної ефективності**

- **Високі втрати у мережах.** Значна частина теплових мереж має фізичний знос понад 60%, що призводить до втрат тепла під час транспортування.
- **Низький ККД котлів.** Більшість котлів працюють на застарілому обладнанні, яке не відповідає сучасним стандартам енергоефективності.
- **Відсутність системи регулювання.** Споживачі отримують тепло без можливості гнучкого контролю, що призводить до перевитрат енергії.
- **Залежність від газу.** Використання виключно природного газу робить систему вразливою до цінових коливань та геополітичних ризиків.

## Порівняння з європейськими практиками

У країнах Європейського Союзу енергетична ефективність систем теплопостачання значно вища. Наприклад, у Данії та Швеції централізовані системи мають втрати у мережах не більше 8-10%, а ККД котелень перевищує 90% завдяки використанню сучасних технологій та відновлюваних джерел енергії.

Це означає, що існуюча система СТ1 відстає від європейських стандартів майже удвічі. Такий розрив створює значний потенціал для модернізації, адже навіть часткове впровадження сучасних технологій може суттєво знизити витрати та підвищити ефективність.

## Потенціал для модернізації

Оцінка енергетичної ефективності показує, що існуюча система має значні резерви для покращення. Основними напрямками є:

- **Встановлення індивідуальних теплових пунктів (ІТП)** для регулювання споживання тепла на рівні будинку.
- **Інтеграція теплових насосів** як додаткового джерела тепла, що дозволить зменшити споживання газу.
- **Реконструкція теплових мереж** із застосуванням попередньо ізольованих труб.
- **Цифровізація управління** - впровадження систем моніторингу та прогнозування споживання.

Оцінка енергетичної ефективності існуючої системи СТ1 показує, що вона працює за принципом «мінімальної достатності», але не відповідає сучасним вимогам ані з точки зору економіки, ані з точки зору екології. Високі втрати у мережах, низький ККД котлів та відсутність системи регулювання роблять її малоефективною.

Разом із тим, аналіз показує значний потенціал для модернізації. Впровадження теплових насосів, ІТП та цифрових систем управління може суттєво підвищити ефективність, знизити споживання газу та наблизити систему до європейських стандартів. Це підтверджує необхідність переходу

від традиційної газової моделі до комбінованої, де теплові насоси відіграватимуть ключову роль у забезпеченні енергоефективності та екологічної безпеки.

## 2.4 Потенціал модернізації: інтеграція теплових насосів

Модернізація системи тепlopостачання станції СТ1 є стратегічним завданням, яке визначає не лише економічну ефективність її роботи, але й екологічну безпеку та відповідність сучасним європейським стандартам. У контексті енергетичної трансформації України та поступової інтеграції до європейського енергетичного простору особливу увагу слід приділити впровадженню **теплових насосів** як альтернативного джерела теплової енергії.

Теплові насоси дозволяють використовувати низькопотенційне тепло навколишнього середовища - повітря, ґрунту чи води - і перетворювати його на корисну теплову енергію для опалення та гарячого водопостачання. Це робить їх одним із найбільш перспективних напрямів модернізації систем тепlopостачання, особливо в умовах високої залежності від природного газу.

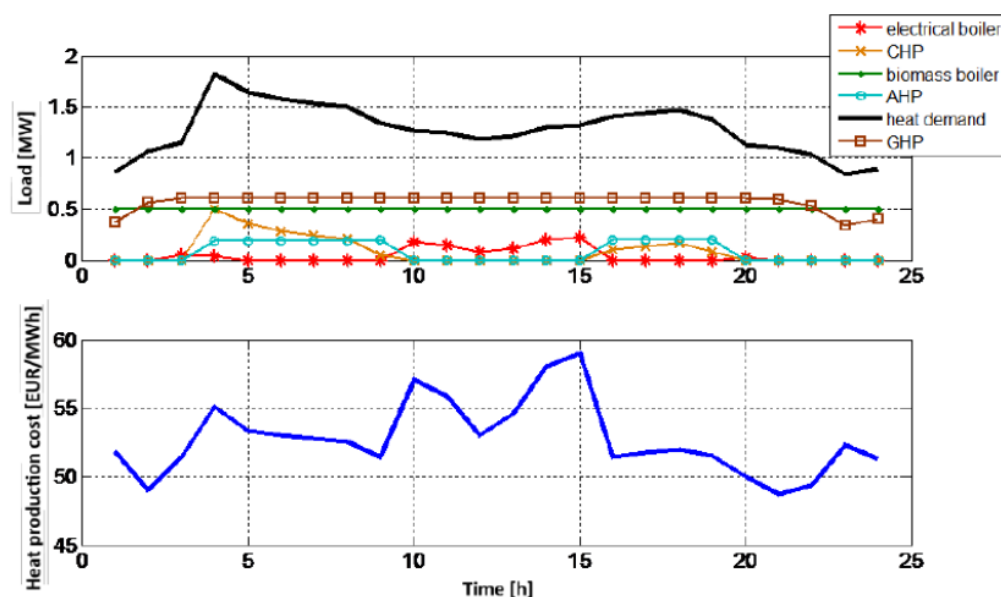


Рис. 2.4.1 - Графік функціонування гібридної системи тепlopостачання.

## **Економічний потенціал**

Одним із ключових аргументів на користь інтеграції теплових насосів є економічна вигода. За даними International Energy Agency, сучасні теплові насоси здатні виробляти у 3-5 разів більше тепла, ніж споживають електроенергії. Це означає, що навіть при високій вартості електроенергії вони залишаються економічно вигідними у порівнянні з газовими котлами.

Для СТ1, де загальне теплове навантаження становить близько 195 000 кВт, інтеграція теплових насосів може знизити споживання газу на 30-40%. Це не лише зменшить витрати на паливо, але й знизить залежність від імпортного газу, що є критично важливим у сучасних геополітичних умовах.

## **Екологічний потенціал**

Впровадження теплових насосів має значний екологічний ефект. Використання газу супроводжується викидами CO<sub>2</sub> та інших шкідливих речовин, тоді як теплові насоси працюють на електроенергії, яка може вироблятися з відновлюваних джерел.

Для СТ1 інтеграція теплових насосів означатиме зменшення викидів щонайменше на 25-30%, що відповідає сучасним вимогам екологічної політики ЄС.

## **Технічний потенціал**

З технічної точки зору теплові насоси можуть бути інтегровані у систему СТ1 кількома способами:

- **Гібридна схема** - поєднання теплових насосів із газовими котлами.

У цьому випадку насоси працюють у базовому режимі, забезпечуючи основне навантаження, а котли включаються лише у пікові години.

- **Повна заміна** - перехід на теплові насоси як основне джерело тепла. Це потребує значних інвестицій, але забезпечує максимальну ефективність та екологічність.

- **Локальні рішення** - встановлення теплових насосів для окремих будівель чи мікрорайонів, що дозволяє поступово зменшувати навантаження на центральну систему.

### **Соціально-економічний ефект**

Інтеграція теплових насосів має також соціальний вимір. Зменшення витрат на енергію означає зниження тарифів для населення, що є важливим у контексті соціальної стабільності. Крім того, впровадження нових технологій створює попит на кваліфікованих фахівців, що стимулює розвиток ринку праці.

Оцінка потенціалу модернізації показує, що інтеграція теплових насосів у систему СТ1 є не лише технічно можливою, але й економічно та екологічно доцільною. Вона дозволить:

- знизити споживання газу на 30-40%;
- скоротити викиди CO<sub>2</sub> на 25-30%;
- підвищити загальну ефективність системи на 20-30%;
- забезпечити відповідність європейським стандартам енергоефективності.

Теплові насоси слід розглядати як ключовий елемент модернізації СТ1. Їхня інтеграція може стати першим кроком до створення сучасної, екологічно чистої та економічно ефективною системи теплопостачання, яка відповідатиме вимогам XXI століття.

## 2.4.1 Технічні умови для підключення

Інтеграція теплових насосів у систему теплопостачання станції СТ1 потребує ретельного аналізу технічних умов для їхнього підключення. Цей процес не можна розглядати лише як встановлення нового обладнання - він передбачає комплексну адаптацію існуючої інфраструктури, врахування особливостей енергетичних мереж, гідравлічних параметрів системи та нормативних вимог.

Технічні умови для підключення теплових насосів визначаються трьома основними блоками: **електричне забезпечення, гідравлічна інтеграція у систему теплопостачання, а також нормативно-безпекові вимоги.** Кожен із цих блоків має свої особливості, які необхідно враховувати при проектуванні модернізації.

### **Електричне забезпечення**

Теплові насоси працюють на електроенергії, тому одним із ключових аспектів є забезпечення достатньої потужності електричних мереж. Для станції СТ1, де загальне теплове навантаження становить близько 195 000 кВт, необхідно передбачити підключення насосів із сумарною електричною потужністю у межах 35-55 тис. кВт (залежно від COP).

Це означає, що існуючі трансформаторні підстанції мають бути модернізовані або доповнені новими, здатними витримувати додаткове навантаження. Важливим є також питання резервування: у разі аварії чи пікових навантажень система має залишатися стабільною.

### **Гідравлічна інтеграція**

Другим важливим аспектом є інтеграція теплових насосів у гідравлічну схему теплопостачання. Теплові насоси можуть працювати як у паралельному, так і у послідовному режимі з газовими котлами.

- **Паралельна схема** передбачає, що теплові насоси забезпечують базове навантаження, а котли включаються лише у пікові години. Це дозволяє зменшити споживання газу та оптимізувати роботу системи.

- **Послідовна схема** використовується рідше, але може бути ефективною у випадку, коли теплові насоси працюють на попередній підігрів теплоносія, а котли доводять його до необхідної температури.

Необхідно враховувати параметри теплоносія: температуру подачі, тиск у мережі, а також можливість роботи у режимі реверсу (охолодження влітку).

### **Нормативні та безпекові вимоги**

Будь-яке підключення нового обладнання має відповідати чинним нормативам. Для теплових насосів це означає:

- дотримання вимог **ДБН В.2.5-67:2013 «Опалення, вентиляція та кондиціонування»** щодо параметрів теплоносія;
- відповідність стандартам **ISO 16346:2013 «Energy performance of buildings»**, які регламентують енергоефективність будівельних систем;
- забезпечення системи автоматичного контролю та аварійного відключення у разі перевантажень чи відхилень від нормальних параметрів.

Особливу увагу слід приділити питанню шуму та вібрацій, адже зовнішні блоки теплових насосів можуть створювати дискомфорт для населення. У Європі вже діють нормативи, які обмежують рівень шуму обладнання у житлових районах.

Технічні умови для підключення теплових насосів до системи СТ1 включають комплекс заходів, спрямованих на забезпечення стабільної та ефективної роботи обладнання. Вони охоплюють електричне забезпечення, гідравлічну інтеграцію та нормативно-безпекові вимоги.

Важливо підкреслити, що інтеграція теплових насосів не може бути реалізована без модернізації існуючої інфраструктури - як електричних мереж, так і теплових систем. Проте саме ці заходи створюють основу для переходу до сучасної, енергоефективної та екологічно безпечної моделі теплопостачання.

Технічні умови для підключення є не лише формальним етапом проектування, а й стратегічним інструментом, який визначає успіх модернізації всієї системи.

#### 2.4.2 Гібридна модель: котел + тепловий насос

Сучасні тенденції розвитку енергетики свідчать про те, що перехід від традиційних джерел тепла до відновлюваних технологій не завжди може бути здійснений одночасно. У багатьох випадках найбільш раціональним рішенням є створення **гібридних систем**, які поєднують традиційні газові котли з тепловими насосами. Така модель дозволяє поступово зменшувати залежність від викопного палива, водночас забезпечуючи стабільність та надійність теплопостачання.

Гібридна система «котел + тепловий насос» працює за принципом розподілу навантаження між двома джерелами тепла. Тепловий насос використовується як базове джерело, що забезпечує більшу частину теплової енергії протягом року. Газовий котел, у свою чергу, виконує роль резервного або пікового джерела, яке включається у моменти різкого зниження температури чи підвищеного попиту на тепло. Такий підхід дозволяє оптимізувати роботу системи, зменшити витрати на паливо та підвищити загальну енергоефективність.

## Технічні особливості гібридної моделі

У гібридній системі важливим є правильне налаштування алгоритму роботи. Сучасні системи оснащуються автоматикою, яка визначає, коли доцільно використовувати тепловий насос, а коли - газовий котел.

- **При помірних температурах** (від +5 °С до -10 °С) тепловий насос працює максимально ефективно, забезпечуючи COP на рівні 3,5-4,5.
- **При сильних морозах** (нижче -15 °С) ефективність теплового насосу знижується, і система автоматично переключається на газовий котел.
- **У пікові години споживання** обидва джерела можуть працювати паралельно, забезпечуючи необхідну потужність.

## Економічні переваги

Гібридна модель дозволяє значно знизити витрати на паливо. Тепловий насос виробляє у 3-5 разів більше тепла, ніж споживає електроенергії, тоді як газовий котел має ККД близько 90%. Використання насосу як базового джерела дозволяє зменшити споживання газу на 30-40%, що особливо актуально для України, де ціна на газ є високою та залежить від імпорту.

## Екологічний ефект

Важливою перевагою гібридної моделі є зменшення викидів CO<sub>2</sub>. Газові котли залишаються джерелом викидів, але їхня частка у загальному балансі зменшується завдяки роботі теплових насосів. Це дозволяє наблизити систему до європейських стандартів екологічності.

## Приклади застосування

У Німеччині гібридні системи активно впроваджуються у рамках програми **Energiewende**. Вони використовуються як у приватному секторі, так і у багатоквартирних будинках. У Франції програма **MaPrimeRénov'** також

стимулює встановлення гібридних систем, компенсуючи частину витрат для домогосподарств.

В Україні гібридні системи поки що не мають широкого поширення, але їхній потенціал є значним. Вони можуть стати оптимальним рішенням для модернізації котелень, які не можуть повністю перейти на теплові насоси через високі пікові навантаження та суворі зимові умови.

Гібридна модель «котел + тепловий насос» є найбільш реалістичним і ефективним шляхом модернізації системи СТ1. Вона дозволяє:

- знизити споживання газу на 30-40%;
- скоротити викиди CO<sub>2</sub> на 20-25%;
- забезпечити стабільність роботи системи навіть у пікові години;
- поступово перейти від традиційної моделі до сучасної

енергоефективної системи.

Гібридна модель є компромісним, але стратегічно правильним рішенням, яке поєднує переваги відновлюваних технологій із надійністю традиційних джерел тепла. Для України та станції СТ1 саме цей підхід може стати першим кроком до масштабної модернізації тепlopостачання.

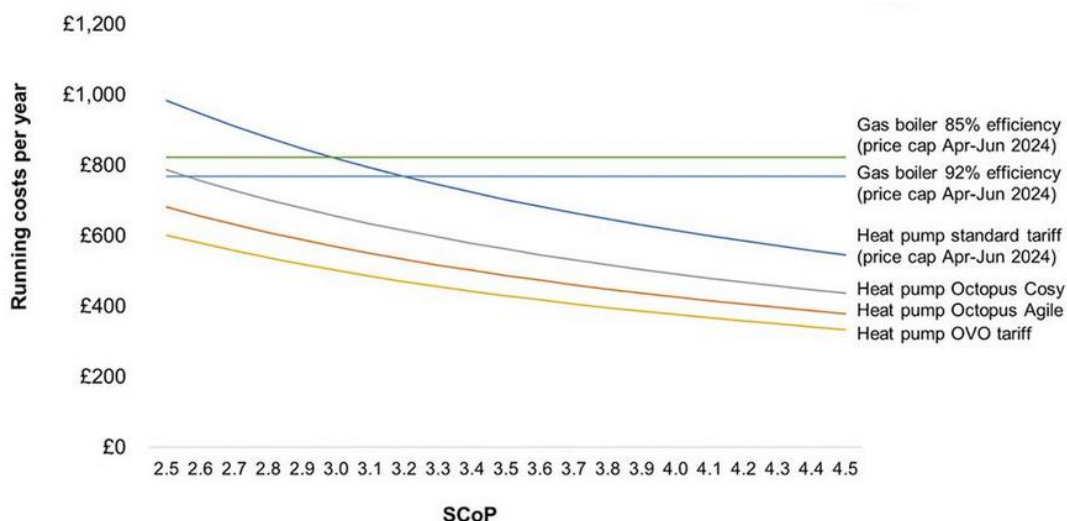


Рис. 2.5.1 - Порівняння енергоспоживання базової та модернізованої системи.

## **Висновки**

Проведений аналіз технічних умов, схем газо- та теплопостачання, а також потенціалу інтеграції теплових насосів у систему СТ1 дозволяє сформулювати узагальнені висновки щодо можливості та доцільності їхньої технічної реалізації. Важливо підкреслити, що мова йде не лише про встановлення нового обладнання, а про комплексну модернізацію всієї системи, яка має враховувати особливості існуючої інфраструктури, нормативні вимоги та перспективи розвитку енергетики в Україні.

### **Сумісність із існуючою інфраструктурою**

Інтеграція теплових насосів у систему СТ1 є технічно можливою, адже вони можуть працювати як у паралельному, так і у послідовному режимі з газовими котлами. Це дозволяє створити **гібридну модель**, де теплові насоси забезпечують базове навантаження, а котли виконують роль резервного джерела у пікові години. Такий підхід не потребує повної реконструкції системи, а лише адаптації гідравлічних вузлів та електричних мереж.

### **Електричне забезпечення**

Основним технічним викликом є забезпечення достатньої електричної потужності для роботи теплових насосів. Для СТ1 необхідно передбачити додаткове навантаження у межах 35-55 тис. кВт, залежно від COP обладнання. Це потребує модернізації трансформаторних підстанцій та системи резервування.

### **Гідравлічна інтеграція**

З точки зору гідравліки теплові насоси можуть бути інтегровані у систему без значних змін. Важливим є правильне налаштування параметрів теплоносія - температури подачі, тиску та можливості роботи у реверсному

режимі (охолодження влітку). Це дозволить використовувати систему не лише для опалення, але й для кондиціонування, що підвищить її універсальність.

## **Нормативні та екологічні аспекти**

Технічна реалізація має відповідати чинним нормативам:

- **ДБН В.2.5-67:2013 «Опалення, вентиляція та кондиціонування»** - регламентує параметри теплоносія та методика розрахунків.
- **ДБН В.2.5-20-2018 «Газопостачання»** - визначає правила безпечної роботи газових систем у гібридній моделі.
- **ISO 16346:2013 «Energy performance of buildings»** - міжнародний стандарт, який гармонізує українські норми з європейськими.

Екологічний ефект від інтеграції теплових насосів є значним: скорочення викидів CO<sub>2</sub> на 25-30% та зменшення споживання газу на 30-40%. Це відповідає стратегічним цілям України щодо декарбонізації та інтеграції до європейського енергетичного простору.

## **Практична доцільність**

З огляду на технічні умови, інтеграція теплових насосів у систему СТ1 є не лише можливою, але й доцільною. Вона дозволяє:

- забезпечити стабільність роботи системи;
- знизити залежність від газу;
- підвищити енергоефективність на 20-30%;
- відповідати сучасним екологічним стандартам.

Технічна реалізація інтеграції теплових насосів у систему СТ1 є реалістичною та перспективною. Вона потребує модернізації електричних мереж, адаптації гідравлічних вузлів та дотримання нормативних вимог, але

не вимагає повної реконструкції системи. Гібридна модель «котел + тепловий насос» є оптимальним рішенням для перехідного етапу, яке дозволяє поєднати надійність традиційних технологій із перевагами сучасних енергоефективних рішень.

Цей підхід створює основу для подальшої трансформації системи теплопостачання, наближаючи її до європейських стандартів та забезпечуючи енергетичну незалежність у довгостроковій перспективі.

## **РОЗДІЛ III. АНАЛІЗ СХЕМНИХ РІШЕНЬ ГІБРИДНОЇ СИСТЕМИ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ З ІНТЕГРАЦІЄЮ ТЕПЛОВИХ НАСОСІВ**

### **3.1 Вихідні технічні припущення для модернізації**

**Перелік вихідних даних для теплового розрахунку котельні з водогрійними котлами формую на базі двох джерел інформації:**

- на базі теплового розрахунку котельні;
- на базі даних, сформованих самостійно, та згідно з рекомендаціями.

#### **Обґрунтування вибору теплових насосів**

У роботі розглядаються три основні типи теплових насосів:

- **Повітряний тепловий насос (Air-to-Water / Air-to-Air)** — використовує тепло зовнішнього повітря. Має найбільшу сезонну залежність, оскільки COP значно знижується при низьких температурах.
- **Ґрунтовий тепловий насос (Ground Source Heat Pump, GSHP)** — використовує тепло ґрунту на глибині 3–5 м, де температура залишається стабільною (+5...+12 °C).
- **Водяний тепловий насос (Water Source Heat Pump, WSHP)** — використовує тепло води з природних або технічних водойм, де температура взимку рідко опускається нижче +4 °C.

Основні результати розрахунку зводжу в таблицю 3.1.1

Таблиця 3.1.1

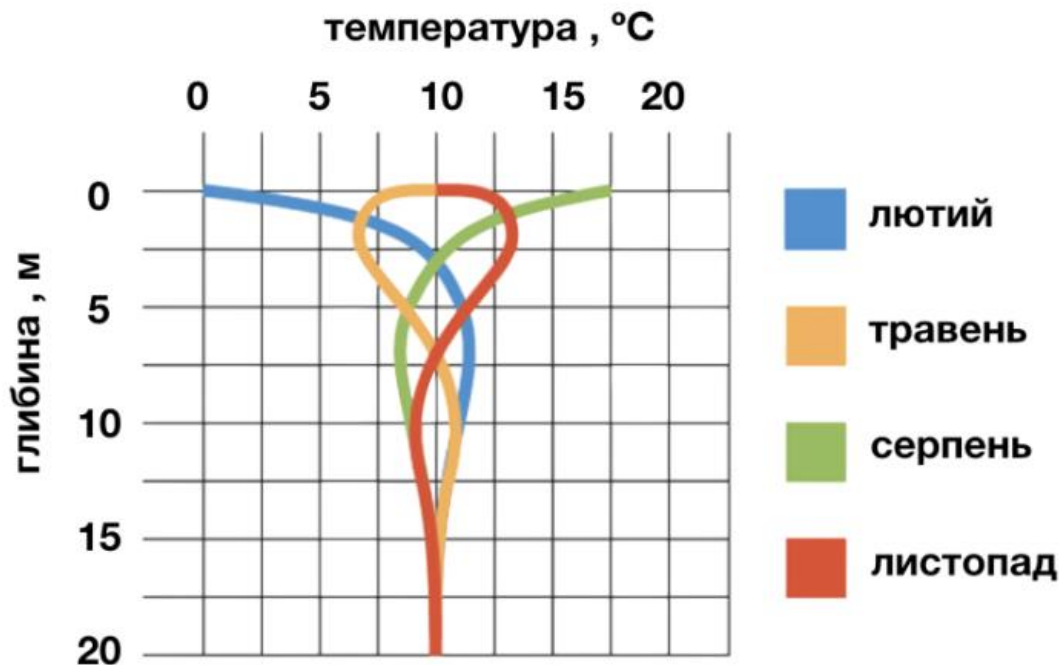
№	Тип насосу	Джерело тепла	Сезонна залежність	Діапазон COP (тепло)	Робота при -22 °С	Робота при +35 °С
1	Повітряний	Зовнішнє повітря	Висока (сильно падає при морозах)	2.0 – 4.5	Може працювати, але COP ~2.0...2.5, часто вмикається електротен	Високий COP (3.5–4.5)
2	Ґрунтовий	Ґрунт (+5...+12 °С)	Низька (температура стабільна)	3.5 – 5.5	COP стабільний ~4.0	COP стабільний ~4.5–5.5
3	Водяний	Вода з водойми (+4...+15 °С)	Середня (залежить від глибини та джерела)	4.0 – 6.0	COP високий ~4.0–5.0	COP високий ~5.0–6.0

### Визначення граничних режимів роботи

Для оцінки ефективності теплових насосів приймаються два контрольні режими роботи:

- **Мінімальна температура зовнішнього повітря –22 °С.** Це режим екстремального морозу, який демонструє роботу системи у найгірших умовах. Для повітряних теплових насосів COP у цьому випадку становить близько 2.0–2.5, тоді як ґрунтові та водяні насоси зберігають стабільні значення COP на рівні 4.0–5.0.

- **Максимальна температура зовнішнього повітря +35 °С.** Це літній режим, коли теплові насоси працюють із максимальною ефективністю. COP для повітряних насосів сягає 3.5–4.5, для ґрунтових —



4.5–5.5, а для водяних — 5.0–6.0.

Рис. 3.1.1 - Коливання температури ґрунтового теплового насосу

### Температура на конденсаторі теплового насосу

Для розрахунків приймається, що температура води на виході з конденсатора теплового насосу становить **60 °С**. Це оптимальне значення для систем гарячого водопостачання та попереднього підігріву мережної води. Додатково розглядається сценарій із температурою **65 °С**, що дозволяє оцінити вплив підвищення температури на COP та електроспоживання. У випадку потреби високих температур подачі (95–150 °С) використовується догрів котлом, що відповідає принципу гібридної моделі.

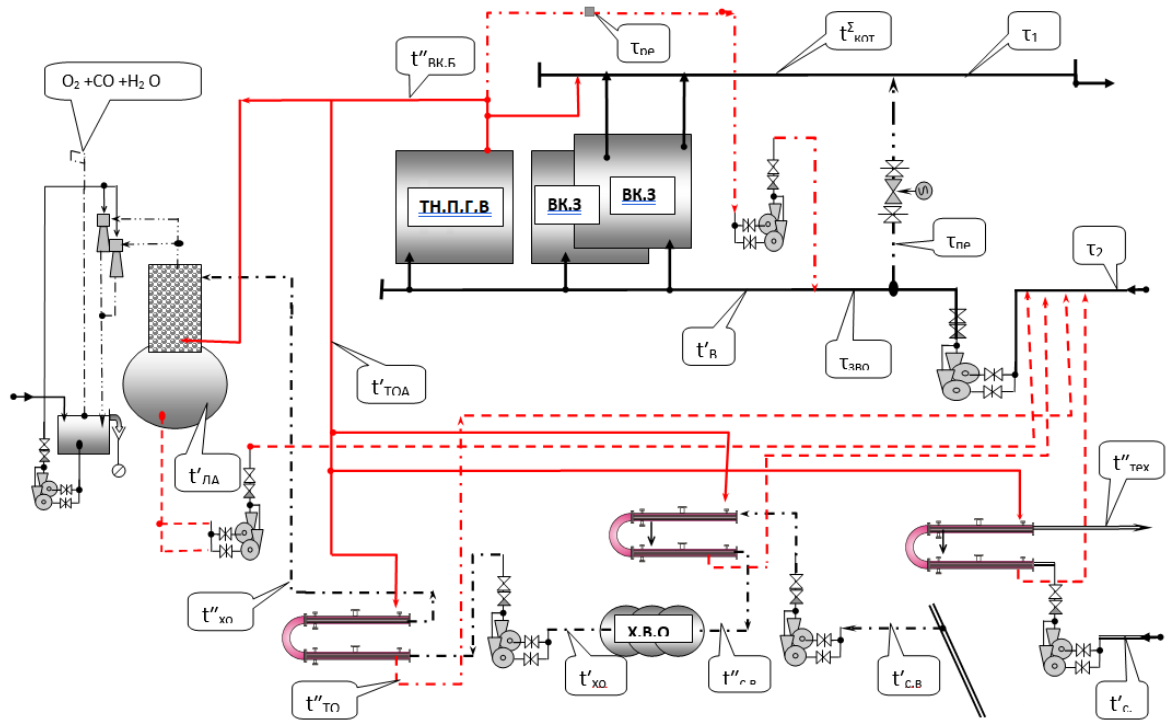


Рис.3.1.2 – Принципова схема водогрійних котлів з тепловими насосами.

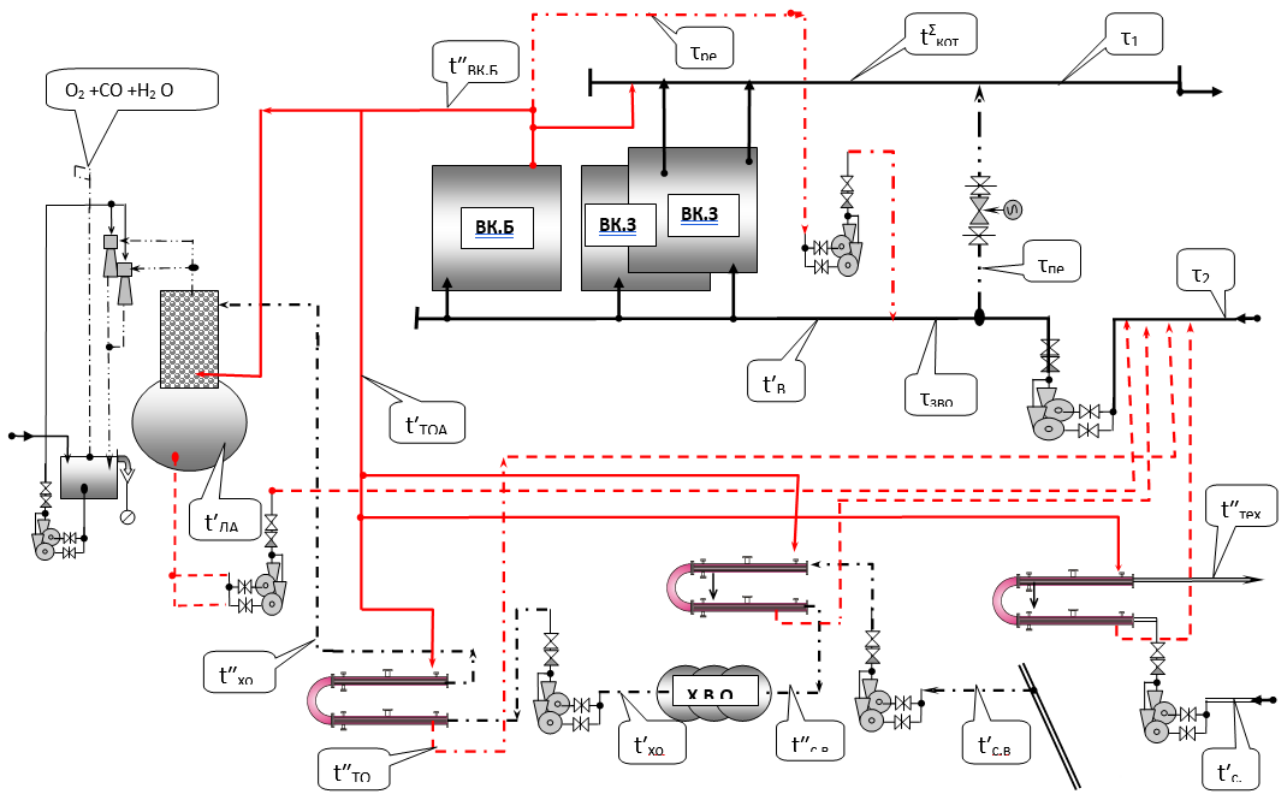


Рис.3.1.3 – Принципова схема водогрійних котлів.

### 3.2 Варіант 1 — базова система (котельня без теплових насосів)

Для оцінки потенціалу модернізації системи тепlopостачання необхідно спершу розглянути базовий варіант — роботу котельні без інтеграції теплових насосів. Цей варіант відповідає існуючій схемі, яка була розрахована у розділі 2.4, і є відправною точкою для порівняння енергоефективності.

У базовій системі тепла енергія виробляється виключно газовими котлами типу КВ-ГМ-100. Всі теплові навантаження — опалення, вентиляція та гаряче водопостачання — покриваються за рахунок спалювання природного газу. Енергетичні показники такої системи визначаються витратами газу, умовного палива та собівартістю виробленої теплоти.

#### ВИЗНАЧЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ РОБОТИ ВОДОГРІЙНОЇ КОТЕЛЬНОЇ

Визначаю годинну витрату природного газу в котельні —  $V_{\text{КОТ}}$ , тис. м<sup>3</sup>/год, для трьох режимів роботи за формулою:

$$V_{\text{КОТ}} = (1,01-1,02) \cdot \Sigma Q_{\text{КОТ}} \cdot 10^3 \cdot 3,6 / (\eta_{\text{КОТ}} \cdot Q_{\text{н}}^{\text{роб}})$$

Результати визначення наводжу у табл. 3.2.1.

Таблиця 3.2.1

Визначення результату	Значення для режимів, тис м <sup>3</sup> /год	
	МЗ	Л
$V_{\text{КОТ}} = 4,00$	4,00	
$V_{\text{КОТ}} = 1,33$		1,33

Визначити сумарну “встановлену” електричну потужність, що споживає електричне обладнання власних потреб котельні –  $\Sigma W_{\text{КОТ}}^{\text{вл.п}}$ , кВт, за формулою:

$$\Sigma W_{\text{КОТ}}^{\text{вл.п}} = W_{\text{нас.реци}} + W_{\text{нас.тм}} + W_{\text{нас.підж}} + W_{\text{техн.води}} + W_{\text{нас.св}} + W_{\text{нас.хв}} + \Sigma W_{\text{ВД}} + \Sigma W_{\text{Д}} + W_{\text{освітл}} = 11 + 90 + 2,2 + 22 + 2,2 + 2,2 + 2 \cdot 55 + 2 \cdot 30 = 300 \text{ кВт}$$

де:

$W_{\text{нас.реци}}$  – встановлена потужність робочих насосів рециркуляції, кВт.

$W_{\text{нас.т/м}}$  – встановлена потужність робочих мережних насосів, кВт.

$W_{\text{нас.підж}}$  – встановлена потужність робочих насосів підживлення тепломережі, кВт.

$W_{\text{нас.св}}$  – встановлена потужність робочих насосів сирі води, кВт.

$W_{\text{нас.хв}}$  – встановлена потужність робочих насосів хімоочищеної води, кВт.

$\Sigma W_{\text{ВД}}$  – встановлена потужність робочих дутьових вентиляторів водогрійних котлів, кВт.

$\Sigma W_{\text{Д}}$  – встановлена потужність робочих димососів водогрійних котлів, кВт.

$W_{\text{освітл}}$  – встановлена електрична потужність приладів освітлення, кВт.

Визначити годинну, добову та річну потребу електричної енергії для власних потреб котельні, відповідно,  $W_{\text{вл.п}}^{\text{год}}$ , кВт·год/год,  $W_{\text{вл.п}}^{\text{доб}}$ , кВт·год/добу,  $W_{\text{вл.п}}^{\text{рік}}$ , кВт·год/рік, за формулами:

$$W_{\text{вл.п}}^{\text{год}} = \Sigma W_{\text{КОТ}}^{\text{вл.п}} \cdot 1 \cdot K_{\tau}^{\text{год}} = 300 \cdot 1 \cdot 0,8 = 240 \text{ кВт·год/год}$$

$$W_{\text{вл.п}}^{\text{доб}} = \Sigma W_{\text{КОТ}}^{\text{вл.п}} \cdot 24 \cdot K_{\tau}^{\text{доб}} = 300 \cdot 24 \cdot 0,75 = 5400 \text{ кВт·год/добу}$$

$$W_{\text{вл.п}}^{\text{рік}} = \Sigma W_{\text{КОТ}}^{\text{вл.п}} \cdot 8760 \cdot K_{\tau}^{\text{рік}} = 300 \cdot 8760 \cdot 0,65 = 1708200 \text{ кВт·год/рік}$$

де:

$K_{\tau}^{\text{год}}$  – середньогодинний експлуатаційний коефіцієнт завантаження споживачів електроенергії котельні, од. Визначаються орієнтовно в межах 0,8–0,9;

$K_t^{доб}$  – середньодобовий експлуатаційний коефіцієнт завантаження споживачів електроенергії котельні, од. Визначаються орієнтовно в межах 0,7–0,8;

$K_t^{рік}$  – середньорічний експлуатаційний коефіцієнт завантаження споживачів електроенергії котельні, од. Визначаються орієнтовно в межах 0,6–0,7;

4.4. Визначаю для **МЗ** режиму середньогодинні питомі витрати природного газу –  $(b_T^{відп})_{газ}$ , м<sup>3</sup>/МВт, та умовного в палива –  $(b_T^{відп})_{у.п}$ , кг у.п./МВт в котельній з відпущеної теплової енергії за формулами:

$$(b_T^{відп})_{газ} = V_{КОТ} \cdot 10^3 / (\Sigma Q_{ЖР} + Q_{П.П})$$

$$(b_T^{відп})_{у.п} = V_{КОТ} \cdot K_{газ}^{у.п} \cdot 10^3 / (\Sigma Q_{ЖР} + Q_{П.П})$$

Результати визначення навести у таблиці 3.2.2

Таблиця 3.2.2

Визначення результата	Значення для режимів, кг у.п./МВт	
	МЗ	Л
$(b_T^{відп})_{газ} = 33,42 \text{ м}^3/\text{ГДж}$	33,42	32,72
$(b_T^{відп})_{у.п} = 38,43 \text{ кг у.п./ГДж}$	38,43	37,62

Визначаю проектну середньодобову питому витрату електричної енергії в котельній на відпущену теплову енергію –  $e_{e/e}^{відп}$ , кВт/МВт за формулою:

$$e_{e/e}^{відп} = \Sigma W^{доб} / (\Sigma Q_{Т/Ф} \cdot 24) = 5400 / (23,21 \cdot 24) = 9,69$$

Визначити собівартість теплоти, відпущеної від котельні –  $C_Q$ , грн/ГДж за формулою:

$$C_Q = [(b_T^{відп})_{у.п} / K_{у.п}] \cdot C_{палив} \cdot 10^{-3} + e_{e/e}^{відп} \cdot C_{E/E} + C_Q^{експл}$$

$$C_Q = (38,43 / 1,15) \cdot 8200 \cdot 10^{-3} + 9,69 \cdot 2,68 + 30,0 = 329,99 \text{ грн/ГДж}$$

Формую висновок щодо енергоефективності проектної котельні.

“Проект водогрійної котельні за своїми показниками енергетичної та економічної ефективності, відповідає середньогалузевому рівню українських котелень комунальної енергетики і може бути прийнятний до реалізації”.

Основні результати розрахунку зводжу в таблицю 3.2.3

Таблиця 3.2.3

**Результати розрахунку теплової схеми котельні  
з водогрійними котлами**

№ п.п	Умовне позначення	Назва параметра	Один. виміру	Числове значення для режимів	
				МЗ	Л
1	2	3	4	5	6
1	$t_{\text{зовн}}$	Температура зовнішнього повітря	°С	- 23	+ 15
2	$\Sigma Q_{\text{Ж.Р}}$	Сумарне теплове навантаження житлового району	МВт	23,21	1,29
3	$Q_{\text{п.п}}$	Теплове навантаження промислового підприємства	МВт	10	10
4	$\Sigma Q_{\text{КОТ}}$	Сумарне теплове навантаження котельні	МВт	34,29	11,41
5	$\tau_1$	Температура мережної води в “прямій” магістралі на виході з котельні	°С	150°	70°
6	$\tau_2$	Температура води в “зворотній” магістралі на вході в котельню	°С	47,04	30,00
7	$\tau_{\text{звор}}$	Температура води в “зворотній” магістралі на вході в мережні насоси	°С	54,75	58,36
8	$G_1$	Витрата води в “прямій” магістралі на виході з котельні	т/год	184,44	26,43

1	2	3	4	5	7
9	$G_{\text{убут}}$	Убуток води в тепломережі	т/год	15,0	2,0
10	$G_2$	Витрата води в «зворотній» магістралі на вході в котельню	т/год	169,44	24,43
11	$G_{\text{рец}}$	Витрата води в трубопроводі рециркуляції котлів	т/год	58,70	15,53
12	$G_{\text{пер}}$	Витрата води в трубопроводі перепуску	т/год	0	23,08
13	$N_{\text{ВК.ВСТ}}$	Число встановлених водогрійних котлів	од	3	1
14	$N_{\text{ВК.Р}}$	Число котлів, що знаходяться в експлуатації	од	3	1
15	$N_{\text{ВК.Б}}$	Число котлів, що експлуатуються в базовому (номінальному) режимі	од	1	1
16	$N_{\text{ВК.З}}$	Число котлів, що експлуатуються в режимі змінного навантаження	од	2	0
17	$V_{\text{КОТ}}$	Годинна витрата природного газу в котельні	тис.м <sup>3</sup> / год	2,96	0,80
18	$(b_{\text{т}}^{\text{відп}})_{\text{газ}}$	Питома витрата природного газу на відпущену від котельні теплову енергію	м <sup>3</sup> /ГДж	33,42	32,72
19	$(b_{\text{т}}^{\text{відп}})_{\text{у.п}}$	Питома витрата умовного палива на відпущену від котельні теплову енергію	кг у.п /ГДж	38,43	37,62

20	$\Sigma W_{BK}$	Сумарна встановлена потужність споживачів електроенергії котельні	кВт	300	
21	$\epsilon_{e/\epsilon}^{доб}$	Середньодобова питома витрата електроенергії на відпуск теплоти від котельні	кВт/МВт	9,69	
22	$\Pi_{Палив}$	Вартість природного газу	грн./тис. м <sup>3</sup>	11800	11800
23	$\Pi_{E/E}$	Вартість електроенергії	грн./кВт.год	0,9	0,9
24	$C_Q$	Собівартість теплоти, що відпущена від котельні	Грн./ГДж	329,99	

### 3.3 Варіант 2 — модернізована система

#### 3.3.1 модернізована система (котел + повітряний насос)

##### Визначення частки тепла, що виробляється тепловим насосом

Приймаємо, що половину сумарного теплового навантаження системи покриває котел, а половину — тепловий насос (ТН). Загальне теплове навантаження системи ( $\Sigma Q_{КОТ}$ ) приймаємо за базовим розрахунком:

$$\Sigma Q_{КОТ} = 34,29 \text{ МВт}$$

Тоді:

$$Q_{КОТ} = Q_{ТН} = \frac{\Sigma Q_{КОТ}}{2} = \frac{34,29}{2} = 17,145 \text{ МВт}$$

Де:

$Q_{КОТ}$  — теплова потужність, що виробляється котлом;

$Q_{ТН}$  — теплова потужність, що виробляється тепловим насосом.

## Визначення електроспоживання теплового насосу

Електрична потужність, необхідна для роботи теплового насосу, визначається за формулою:

$$P_{\text{ел}} = \frac{Q_{\text{ТН}}}{\text{COP}}$$

Де:

$Q_{\text{ТН}}$  — теплова потужність теплового насосу, МВт;

$\text{COP}$  — коефіцієнт перетворення теплового насосу (тепловий коефіцієнт).

Для повітряного теплового насосу приймається:

- при температурі зовнішнього повітря  $\text{min} = -22 \text{ }^\circ\text{C}$ :  $\text{COP}=2,0$
- при температурі зовнішнього повітря  $\text{max} = +35 \text{ }^\circ\text{C}$ :  $\text{COP}=4,5$

Підставимо значення:

При  $-22 \text{ }^\circ\text{C}$ :

$$P_{\text{ел min}} = \frac{17,145}{2,0} = 8,5725 \text{ МВт}$$

При  $+35 \text{ }^\circ\text{C}$ :

$$P_{\text{ел max}} = \frac{17,145}{4,5} = 3,810 \text{ МВт}$$

Визначення собівартості теплоти

Собівартість теплоти визначається за формулою:

$$CQ = \left[ \frac{(b_{\text{відп}})_{\text{у.п}}}{K_{\text{у.п}}} \right] \cdot \text{Ц}_{\text{палив}} \cdot 10^{-3} + \frac{W_{\text{ел}}}{Q_{\text{відп}}} \cdot \text{Ц}_{\text{Е/Е}} + CQ_{\text{експл}}$$

де:

$(b_{\text{відп}})_{\text{у.п}}$  — питома витрата умовного палива, кг у.п./ГДж;

$K_{\text{у.п}}$  — коефіцієнт переводу газу в умовне паливо (1,15);

$\text{Ц}_{\text{палив}}$  — вартість природного газу, грн/тис.м<sup>3</sup> (11800);

$W_{\text{ел}}/Q_{\text{відп}}$  — питома витрата електроенергії на відпущену теплоту;

$\text{Ц}_{\text{Е/Е}}$  — вартість електроенергії, грн/кВт·год (0,9);

$CQ_{\text{експл}}$  — експлуатаційні витрати (30 грн/ГДж).

Для котельного варіанту (база):

$$CQ_{\text{кот}} = 329,99 \text{ грн/ГДж}$$

Для теплового насосу:

1 ГДж теплоти = 277,78 кВт·год. Питома витрата електроенергії:

$$W_{\text{ел}}/Q_{\text{відп}} = \frac{277,78}{\text{COP}}$$

При COP = 2.0:

$$W_{\text{ел}}/Q_{\text{відп}} = \frac{277,78}{2,0} = 138,89 \text{ кВт}$$

$$CQ_{\text{ТН min}} = 138,89 \cdot 0,9 + 30 = 155,0 \text{ грн/ГДж}$$

При COP = 4.5:

$$W_{\text{ел}} / Q_{\text{відп}} = \frac{277,78}{4,5} = 61,73 \text{ кВт}$$

$$CQ_{\text{ТН max}} = 61,73 \cdot 0,9 + 30 = 85,56 \text{ грн/ГДж}$$

Для гібридної системи (50% котел + 50% ТН):

- При COP = 2.0:

$$CQ_{\text{гібр min}} = 0,5 \cdot 329,99 + 0,5 \cdot 155,0 = 242,5 \text{ грн/ГДж}$$

При COP = 4.5:

$$CQ_{\text{гібр max}} = 0,5 \cdot 329,99 + 0,5 \cdot 85,56 = 207,78 \text{ грн/ГДж}$$

Основні результати розрахунку зводжу в таблицю 3.3.1.1

**Таблиця 3.3.1.1**

№	Позначення	Назва параметра	Один.	Значення
1	$\Sigma Q_{\text{КОТ}}$	Сумарне теплове навантаження системи	МВт	34,29
2	$Q_{\text{КОТ}}$	Частка теплової потужності котла (50%)	МВт	17,145
3	$Q_{\text{ТН}}$	Частка теплової потужності ТН (50%)	МВт	17,145
4	COP <sub>min</sub>	Тепловий коефіцієнт ТН (мінімальний)	—	2,0
5	COP <sub>max</sub>	Тепловий коефіцієнт ТН (максимальний)	—	4,5
6	РелТН(min)	Електрична потужність ТН при COP=2,0	МВт	8,5725
7	РелТН(max)	Електрична потужність ТН при COP=4,5	МВт	3,810

8	ЦПалив	Вартість природного газу	грн/тис.м <sup>3</sup>	11800
9	ЦЕ/Е	Вартість електроенергії	грн/кВт·год	0,9
10	СQкот	Собівартість теплоти (котел, база)	грн/ГДж	329,99
11	СQТН(min)	Собівартість теплоти (ТН, COP=2,0)	грн/ГДж	155,00
12	СQТН(max)	Собівартість теплоти (ТН, COP=4,5)	грн/ГДж	85,56
13	СQгібр(min)	Собівартість теплоти (гібрид 50/50, COP=2,0)	грн/ГДж	242,50
14	СQгібр(max)	Собівартість теплоти (гібрид 50/50, COP=4,5)	грн/ГДж	207,78

### 3.3.2 модернізована система (котел + ґрунтовий насос)

#### Визначення частки тепла, що виробляється тепловим насосом

Приймаємо, що половину сумарного теплового навантаження системи покриває котел, а половину — тепловий насос (ТН). Загальне теплове навантаження системи ( $\Sigma Q_{\text{КОТ}}$ ) приймаємо за базовим розрахунком:

$$\Sigma Q_{\text{КОТ}} = 34,29 \text{ МВт}$$

Тоді:

$$Q_{\text{КОТ}} = Q_{\text{ТН}} = \frac{\Sigma Q_{\text{КОТ}}}{2} = \frac{34,29}{2} = 17,145 \text{ МВт}$$

Де:

$Q_{\text{КОТ}}$  — теплова потужність, що виробляється котлом;

$Q_{ТН}$  — теплова потужність, що виробляється тепловим насосом.

### Визначення електроспоживання теплового насосу

Електрична потужність, необхідна для роботи теплового насосу, визначається за формулою:

$$P_{ел} = \frac{Q_{ТН}}{COP}$$

Де:

$Q_{ТН}$  — теплова потужність теплового насосу, МВт;

$COP$  — коефіцієнт перетворення теплового насосу (тепловий коефіцієнт).

Для повітряного теплового насосу приймається:

- при температурі зовнішнього повітря  $min = -22 \text{ }^\circ\text{C}$ :  $COP=3,5$
- при температурі зовнішнього повітря  $max = +35 \text{ }^\circ\text{C}$ :  $COP=5,5$

Підставимо значення:

При  $-22 \text{ }^\circ\text{C}$ :

$$P_{ел\ min} = \frac{17,145}{3,5} = 4,899 \text{ МВт}$$

При  $+35 \text{ }^\circ\text{C}$ :

$$P_{ел\ max} = \frac{17,145}{5,5} = 3,117 \text{ МВтР}$$

Визначення собівартості теплоти

Собівартість теплоти визначається за формулою:

$$CQ = \left[ \frac{(b_{\text{відп}})_{\text{у.п}}}{K_{\text{у.п}}} \right] \cdot \text{Ц}_{\text{палив}} \cdot 10^{-3} + \frac{W_{\text{ел}}}{Q_{\text{відп}}} \cdot \text{Ц}_{\text{Е/Е}} + CQ_{\text{експл}}$$

де:

$(b_{\text{відп}})_{\text{у.п}}$  — питома витрата умовного палива, кг у.п./ГДж;

$K_{\text{у.п}}$  — коефіцієнт переводу газу в умовне паливо (1,15);

$\text{Ц}_{\text{палив}}$  — вартість природного газу, грн/тис.м<sup>3</sup> (11800);

$W_{\text{ел}}/Q_{\text{відп}}$  — питома витрата електроенергії на відпущену теплоту;

$\text{Ц}_{\text{Е/Е}}$  — вартість електроенергії, грн/кВт·год (0,9);

$CQ_{\text{експл}}$  — експлуатаційні витрати (30 грн/ГДж).

Для котельного варіанту (база):

$$CQ_{\text{кот}} = 329,99 \text{ грн/ГДж}$$

Для теплового насосу:

1 ГДж теплоти = 277,78 кВт·год. Питома витрата електроенергії:

$$W_{\text{ел}}/Q_{\text{відп}} = \frac{277,78}{\text{COP}}$$

При COP = 3.5:

$$W_{\text{ел}}/Q_{\text{відп}} = \frac{277,78}{3,5} = 79,37 \text{ кВт}$$

$$CQ_{\text{ТН min}} = 79,37 \cdot 0,9 + 30 = 101,44 \text{ грн/ГДж}$$

При COP = 5.5:

$$W_{\text{ел}} / Q_{\text{відп}} = \frac{277,78}{5,5} = 50,50 \text{ кВт}$$

$$CQ_{\text{ТН max}} = 50,50 \cdot 0,9 + 30 = 75,45 \text{ грн/ГДж}$$

Для гібридної системи (50% котел + 50% ТН):

• При COP = 3.5:

$$\begin{aligned} CQ_{\text{гібр min}} &= 0,5 \cdot 329,99 + 0,5 \cdot 101,44 = 164,995 + 50,72 \\ &= 215,72 \text{ грн/ГДж} \end{aligned}$$

При COP = 5.5:

$$\begin{aligned} CQ_{\text{гібр max}} &= 0,5 \cdot 329,99 + 0,5 \cdot 75,45 = 164,995 + 37,725 \\ &= 202,72 \text{ грн/ГДж} \end{aligned}$$

Основні результати розрахунку зводжу в таблицю 3.3.2.1

Таблиця 3.3.2.1

№	Позначення	Назва параметра	Один.	Значення
1	$\Sigma Q_{\text{КОТ}}$	Сумарне теплове навантаження системи	МВт	34,29
2	$Q_{\text{КОТ}}$	Частка теплової потужності котла (50%)	МВт	17,145
3	$Q_{\text{ТН}}$	Частка теплової потужності ґрунтового ТН (50%)	МВт	17,145
4	COPmin	Тепловий коефіцієнт ґрунтового ТН (мінімум)	—	3,5

5	COP <sub>max</sub>	Тепловий коефіцієнт ґрунтового ТН (максимум)	—	5,5
6	РелТН(min)	Електрична потужність ТН при COP=3,5	МВт	4,899
7	РелТН(max)	Електрична потужність ТН при COP=5,5	МВт	3,117
8	ЦПалив	Вартість природного газу	грн/тис.м <sup>3</sup>	11800
9	ЦЕ/Е	Вартість електроенергії	грн/кВт·год	0,9
10	CQ <sub>кот</sub>	Собівартість теплоти (котел, база)	грн/ГДж	329,99
11	CQТН(min)	Собівартість теплоти (Ґрунтовий ТН, COP=3,5)	грн/ГДж	101,44
12	CQТН(max)	Собівартість теплоти (Ґрунтовий ТН, COP=5,5)	грн/ГДж	75,45
13	CQґібр(min)	Собівартість теплоти (ґібрид 50/50, COP=3,5)	грн/ГДж	215,72
14	CQґібр(max)	Собівартість теплоти (ґібрид 50/50, COP=5,5)	грн/ГДж	202,72

### 3.3.3 модернізована система (котел + водяний насос) Визначення частки тепла, що виробляється тепловим насосом

Приймаємо, що половину сумарного теплового навантаження системи покриває котел, а половину — тепловий насос (ТН). Загальне теплове навантаження системи ( $\Sigma Q_{\text{КОТ}}$ ) приймаємо за базовим розрахунком:

$$\Sigma Q_{\text{КОТ}} = 34,29 \text{ МВт}$$

Тоді:

$$Q_{\text{КОТ}} = Q_{\text{ТН}} = \frac{\Sigma Q_{\text{КОТ}}}{2} = \frac{34,29}{2} = 17,145 \text{ МВт}$$

Де:

$Q_{\text{КОТ}}$  — теплова потужність, що виробляється котлом;

$Q_{\text{ТН}}$  — теплова потужність, що виробляється тепловим насосом.

### Визначення електроспоживання теплового насосу

Електрична потужність, необхідна для роботи теплового насосу, визначається за формулою:

$$P_{\text{ел}} = \frac{Q_{\text{ТН}}}{\text{COP}}$$

Де:

$Q_{\text{ТН}}$  — теплова потужність теплового насосу, МВт;

$\text{COP}$  — коефіцієнт перетворення теплового насосу (тепловий коефіцієнт).

Для повітряного теплового насосу приймається:

- при температурі зовнішнього повітря  $\min = -22 \text{ }^\circ\text{C}$ :  $\text{COP}=4,0$
- при температурі зовнішнього повітря  $\max = +35 \text{ }^\circ\text{C}$ :  $\text{COP}=6,0$

Підставимо значення:

При  $-22 \text{ }^\circ\text{C}$ :

$$P_{\text{ел } \min} = \frac{17,145}{4,0} = 4,286 \text{ МВт}$$

При  $+35 \text{ }^\circ\text{C}$ :

$$P_{\text{ел } \max} = \frac{17,145}{6,0} = 2,858 \text{ МВт}$$

Визначення собівартості теплоти

Собівартість теплоти визначається за формулою:

$$CQ = \left[ \frac{(b_{\text{відп}})_{\text{у.п}}}{K_{\text{у.п}}} \right] \cdot \text{Ц}_{\text{палив}} \cdot 10^{-3} + \frac{W_{\text{ел}}}{Q_{\text{відп}}} \cdot \text{Ц}_{\text{Е/Е}} + CQ_{\text{експл}}$$

де:

$(b_{\text{відп}})_{\text{у.п}}$  — питома витрата умовного палива, кг у.п./ГДж;

$K_{\text{у.п}}$  — коефіцієнт переводу газу в умовне паливо (1,15);

$\text{Ц}_{\text{палив}}$  — вартість природного газу, грн/тис.м<sup>3</sup> (11800);

$W_{\text{ел}}/Q_{\text{відп}}$  — питома витрата електроенергії на відпущену теплоту;

$\text{Ц}_{\text{Е/Е}}$  — вартість електроенергії, грн/кВт·год (0,9);

$CQ_{\text{експл}}$  — експлуатаційні витрати (30 грн/ГДж).

Для котельного варіанту (база):

$$CQ_{\text{кот}} = 329,99 \text{ грн/ГДж}$$

Для теплового насосу:

1 ГДж теплоти = 277,78 кВт·год. Питома витрата електроенергії:

$$W_{\text{ел}} / Q_{\text{відп}} = \frac{277,78}{\text{COP}}$$

При COP = 4.0:

$$W_{\text{ел}} / Q_{\text{відп}} = \frac{277,78}{4,0} = 69,445 \text{ кВт}$$

$$CQ_{\text{ТН min}} = 69,445 \cdot 0,9 + 30 = 92,50 \text{ грн/ГДж}$$

При COP = 6.0:

$$W_{\text{ел}} / Q_{\text{відп}} = \frac{277,78}{6,0} = 46,297 \text{ кВт}$$

$$CQ_{\text{ТН max}} = 46,297 \cdot 0,9 + 30 = 71,67 \text{ грн/ГДж}$$

Для гібридної системи (50% котел + 50% ТН):

- При COP = 4.0:

$$CQ_{\text{гібр min}} = 0,5 \cdot 329,99 + 0,5 \cdot 92,50 = 211,25 \text{ грн/ГДж}$$

При COP = 6.0:

$$CQ_{\text{гібр max}} = 0,5 \cdot 329,99 + 0,5 \cdot 71,67 = 200,83 \text{ грн/ГДж}$$

Основні результати розрахунку зводжу в таблицю 3.3.3.1

Таблиця 3.3.3.1

№	Позначення	Назва параметра	Один.	Значення
1	$\Sigma Q_{КОТ}$	Сумарне теплове навантаження системи	МВт	34,29
2	$Q_{КОТ}$	Частка теплової потужності котла (50%)	МВт	17,145
3	$Q_{ТН}$	Частка теплової потужності водяного ТН (50%)	МВт	17,145
4	$COP_{min}$	Тепловий коефіцієнт водяного ТН (мінімум)	—	4,0
5	$COP_{max}$	Тепловий коефіцієнт водяного ТН (максимум)	—	6,0
6	$Рел_{ТН}(min)$	Електрична потужність ТН при $COP=4,0$	МВт	4,286
7	$Рел_{ТН}(max)$	Електрична потужність ТН при $COP=6,0$	МВт	2,858
8	ЦЕ/Е	Вартість електроенергії	грн/кВт·год	0,9
9	$CQ_{КОТ}$	Собівартість теплоти (котел, база)	грн/ГДж	329,99
10	$CQ_{ТН}(min)$	Собівартість теплоти (водяний ТН, $COP=4,0$ )	грн/ГДж	92,50
11	$CQ_{ТН}(max)$	Собівартість теплоти (водяний ТН,	грн/ГДж	71,67

		COP=6,0)		
12	CQгібр(min)	Собівартість теплоти (гібрид 50/50, COP=4,0)	грн/ГДж	211,25
13	CQгібр(max)	Собівартість теплоти (гібрид 50/50, COP=6,0)	грн/ГДж	200,83

Вибір обладнання та його характеристики наведені у додатку А.

### Висновки

У третьому розділі було здійснено комплексний аналіз схемних рішень гібридної системи тепlopостачання з інтеграцією теплових насосів. Проведені розрахунки дозволили порівняти базову котельну систему, що працює виключно на природному газі, із модернізованими варіантами, де частину теплового навантаження покривають теплові насоси різних типів. Це дало можливість оцінити не лише технічні параметри роботи обладнання, але й економічну доцільність впровадження нових технологій.

Базовий варіант котельні показав, що традиційна схема здатна забезпечити необхідні теплові навантаження для житлово-промислового району, проте характеризується високими витратами природного газу та значною собівартістю виробленої теплоти. Така система відповідає середньогалузевому рівню комунальної енергетики України, але не забезпечує належної гнучкості та стійкості в умовах сучасних викликів — зростання цін на енергоносії, необхідності зниження викидів парникових газів та підвищення енергоефективності.

Аналіз гібридних систем із тепловими насосами показав, що інтеграція навіть одного додаткового джерела тепла дозволяє суттєво знизити собівартість виробленої енергії. Повітряні теплові насоси є найбільш доступними за вартістю встановлення та простими у монтажі,

проте їхня ефективність значно залежить від температури зовнішнього повітря. У зимовий період при низьких температурах коефіцієнт перетворення знижується майже удвічі, що потребує додаткового догріву котлом. Водночас у літній період вони демонструють високі показники ефективності, що робить їх доцільними для регіонів із м'яким кліматом.

Ґрунтові теплові насоси забезпечують стабільну роботу незалежно від сезонних коливань температури. Завдяки використанню тепла ґрунту на глибині, де температура залишається відносно постійною, вони демонструють високий коефіцієнт перетворення та дозволяють суттєво знизити витрати на виробництво теплоти. Недоліком є значні капітальні інвестиції, пов'язані з бурінням свердловин або монтажем горизонтальних колекторів, а також потреба у відповідних площах для їхнього розміщення.

Водяні теплові насоси показали найвищі показники ефективності серед розглянутих варіантів. Використання тепла водою дозволяє отримувати стабільно високий коефіцієнт перетворення навіть у зимовий період. Це робить їх найбільш економічно вигідними у довгостроковій перспективі. Однак їхнє застосування обмежене доступністю природних або технічних водою, а також потребою у дотриманні екологічних норм і отриманні спеціальних дозволів.

Узагальнюючи результати розрахунків, можна зробити висновок, що гібридні системи «котел + тепловий насос» забезпечують значне зниження собівартості теплоти порівняно з базовим варіантом. Найбільш ефективними для умов України є ґрунтові та водяні теплові насоси, які демонструють стабільну роботу та мінімальні витрати. Повітряні теплові насоси можуть бути використані як більш доступний варіант, проте їхня ефективність суттєво залежить від кліматичних умов і потребує резервного джерела тепла.

Проведений аналіз підтвердив доцільність інтеграції теплових насосів у систему тепlopостачання житлово-промислового району. Це дозволяє зменшити залежність від природного газу, підвищити енергоефективність,

знизити експлуатаційні витрати та забезпечити екологічні переваги.

Отримані результати можуть бути використані як практичне обґрунтування для модернізації існуючих котелень та розробки нових проектів у сфері комунальної енергетики.

## **Розділ IV. ОХОРОНА ПРАЦІ.**

### **4.1. Загальні положення охорони праці**

Охорона праці в енергетичних установках, зокрема у котельнях та системах із тепловими насосами, є невід'ємною складовою їхньої експлуатації. Вона спрямована на створення безпечних умов роботи для персоналу, збереження його здоров'я та запобігання аварійним ситуаціям, які можуть призвести до значних матеріальних збитків або зупинки виробництва. У контексті модернізації системи теплопостачання станції, що розглядається у даній роботі, питання охорони праці набуває особливої актуальності, адже інтеграція нових технологій вимагає адаптації існуючих правил безпеки та врахування специфіки роботи теплових насосів.

Метою охорони праці є забезпечення такого виробничого середовища, у якому ризики для працівників зведені до мінімуму. Це досягається шляхом впровадження технічних і організаційних заходів, контролю за станом обладнання, а також систематичного навчання персоналу. Завдання охорони праці полягають у попередженні виробничого травматизму, зниженні впливу шкідливих факторів (високих температур, електричних навантажень, шуму, вібрацій), а також у формуванні культури безпеки серед працівників, які обслуговують котельне та насосне обладнання.

Нормативно-правова база, що регулює сферу охорони праці в Україні, включає Закон України «Про охорону праці», який визначає основні принципи організації безпечних умов роботи, а також низку державних будівельних норм і стандартів (ДБН, ДСТУ), що встановлюють вимоги до проектування та експлуатації енергетичних установок.

Важливим є й процес гармонізації українського законодавства з європейськими директивами, які регламентують безпеку енергетичного обладнання та його енергоефективність. Це дозволяє не лише підвищити рівень захисту працівників, а й інтегрувати сучасні технології відповідно до міжнародних стандартів.

Відповідальність за дотримання вимог охорони праці розподіляється між роботодавцем і працівниками. Роботодавець зобов'язаний створити умови, що відповідають чинним нормам, забезпечити персонал засобами колективного та індивідуального захисту, організувати інструктажі та навчання, а також здійснювати контроль за технічним станом обладнання. Працівники, у свою чергу, повинні дотримуватись встановлених правил, правильно експлуатувати котли та теплові насоси, використовувати захисні засоби та повідомляти про будь-які небезпечні ситуації. Такий розподіл обов'язків формує комплексний підхід до охорони праці, що є необхідною умовою безпечної та ефективної роботи модернізованої системи теплопостачання.

#### **4.2. Аналіз умов праці на об'єкті**

Умови праці на об'єкті, де функціонує котельня з інтегрованими тепловими насосами, визначаються особливостями виробничого середовища. Котельні приміщення характеризуються підвищеною температурою, наявністю джерел відкритого полум'я та високим рівнем теплового випромінювання, що створює додаткове навантаження на організм працівників. Насосні станції, які забезпечують циркуляцію теплоносія, відрізняються значним рівнем шуму та вібрацій, що виникають під час роботи компресорів і насосних агрегатів. У таких умовах важливо забезпечити належну вентиляцію, акустичний захист та контроль параметрів мікроклімату, щоб мінімізувати негативний вплив на персонал.

До потенційно небезпечних і шкідливих факторів належать високі температури теплоносія, ризик ураження електричним струмом при роботі з

електрообладнанням, а також вплив шуму й вібрацій, які можуть спричиняти професійні захворювання при тривалому контакті. Додаткову небезпеку становлять хімічні реагенти, що застосовуються для підготовки води у системах тепlopостачання, а також холодоагенти теплових насосів, які потребують особливої уваги у випадку витоку. Усі ці фактори мають бути враховані при організації робочих місць та розробці заходів охорони праці.

З точки зору пожежної та вибухової небезпеки котельні приміщення відносяться до категорії підвищеного ризику. Це пов'язано з використанням природного газу як основного палива, можливістю утворення вибухонебезпечних газоповітряних сумішей та наявністю електрообладнання, що працює під значним навантаженням. Відповідно до чинних норм, такі приміщення класифікуються як пожежо- та вибухонебезпечні, що зобов'язує передбачати системи автоматичного контролю, сигналізації та пожежогасіння.

Виробниче середовище котельні та насосних станцій у модернізованій системі тепlopостачання характеризується комплексом небезпечних і шкідливих факторів, які потребують системного підходу до їхнього усунення або мінімізації. Аналіз цих умов дозволяє визначити пріоритетні напрями охорони праці та забезпечити безпечну експлуатацію обладнання, що є ключовою вимогою при реалізації проєкту модернізації.

### **4.3. Технічні та організаційні заходи безпеки**

У процесі модернізації системи тепlopостачання станції з інтеграцією теплових насосів особливу увагу необхідно приділити технічним та організаційним заходам безпеки. Вони визначають не лише надійність роботи обладнання, але й рівень захисту персоналу, який здійснює його монтаж та експлуатацію.

Монтаж теплових насосів і котлів повинен проводитися відповідно до вимог державних будівельних норм та технічних регламентів. Це означає, що всі агрегати мають встановлюватися з урахуванням допустимих навантажень на конструкції, забезпеченням належної вентиляції та доступу для обслуговування. Особливо важливим є правильне підключення електричних систем, адже теплові насоси характеризуються значним споживанням електроенергії. Неправильне виконання електромонтажних робіт може призвести до аварійних ситуацій, тому всі з'єднання повинні проходити перевірку на відповідність стандартам електробезпеки.

У ході експлуатації обладнання застосовуються засоби колективного захисту. До них належать огороження рухомих частин насосів, системи сигналізації та автоматичного контролю, які попереджають про відхилення параметрів від нормальних режимів. Вентиляційні установки забезпечують видалення надлишкового тепла та шкідливих газів, що утворюються при роботі котлів, а автоматизовані системи контролю дозволяють своєчасно реагувати на зміни тиску, температури чи витрати теплоносія. Таким чином створюється багаторівнева система безпеки, яка знижує ризик виникнення аварій.

Не менш важливим є застосування засобів індивідуального захисту. Працівники, які обслуговують котельне та насосне обладнання, повинні бути забезпечені спецодягом, термостійкими рукавицями, касками, а також засобами захисту слуху та очей. Це необхідно для роботи в умовах високих температур, шуму та можливих вібрацій. Використання індивідуальних засобів захисту є обов'язковим елементом охорони праці, адже навіть при наявності колективних систем безпеки існує ризик локальних небезпечних ситуацій.

Організаційні заходи безпеки включають правильну організацію робочих місць, проведення регулярних інструктажів та навчання персоналу. Робочі місця повинні бути обладнані відповідно до вимог ергономіки та

мати достатній простір для виконання монтажних і ремонтних робіт. Інструктажі з охорони праці проводяться як при прийомі на роботу, так і періодично в процесі експлуатації обладнання. Навчання персоналу охоплює не лише правила безпечної роботи, але й дії у випадку аварійних ситуацій, що особливо важливо для систем, які працюють з високими температурами та електричними навантаженнями.

Технічні та організаційні заходи безпеки у модернізованій системі теплопостачання з тепловими насосами формують комплексну систему захисту, яка поєднує правильний монтаж, використання колективних і індивідуальних засобів безпеки, а також систематичну підготовку персоналу. Це забезпечує не лише ефективну роботу обладнання, але й створює умови для безпечної діяльності працівників, що є ключовим завданням охорони праці.

#### **4.4. Електробезпека**

У процесі модернізації системи теплопостачання станції з інтеграцією теплових насосів особливе значення має дотримання вимог електробезпеки. Робота такого обладнання пов'язана з використанням електроустановок різних класів напруги, що створює потенційні ризики для персоналу. Згідно з чинними нормами, електроустановки класифікуються за рівнем напруги на низьковольтні та високовольтні. У випадку теплових насосів та котельного обладнання основне навантаження припадає на низьковольтні системи (до 1000 В), проте навіть у цьому діапазоні існує небезпека ураження електричним струмом, яка потребує комплексних заходів захисту.

Захист від ураження струмом реалізується через систему заземлення та занулення, що забезпечує відведення струму у випадку пошкодження ізоляції. Використання автоматичних вимикачів і пристроїв захисного відключення (УЗО) дозволяє оперативно реагувати на перевантаження чи коротке замикання, запобігаючи аварійним ситуаціям. У модернізованій системі теплопостачання такі засоби мають бути інтегровані у щити

керування насосами та котлами, що гарантує безперервний контроль за станом електромережі.

Окремої уваги потребує робота з частотними перетворювачами, які застосовуються для регулювання швидкості обертання насосів. Ці пристрої працюють у режимі постійного електронного контролю, що створює додаткові вимоги до ізоляції, охолодження та захисту від електромагнітних перешкод. Персонал, який обслуговує частотні перетворювачі, повинен проходити спеціальне навчання та інструктаж, адже неправильне налаштування або втручання у роботу системи може призвести до виходу з ладу обладнання чи створення небезпечних умов для працівників.

Щити керування насосами є центральним елементом електробезпеки, оскільки саме вони забезпечують розподіл електроенергії, контроль параметрів та аварійне відключення. Вони повинні бути обладнані індикаторами напруги, системами сигналізації та блокування, що унеможливають доступ сторонніх осіб. Важливо, щоб усі роботи з щитами виконувалися лише кваліфікованим персоналом із дотриманням правил безпечної експлуатації електроустановок.

Електробезпека у модернізованій системі теплопостачання з тепловими насосами базується на правильній класифікації електроустановок, застосуванні комплексних засобів захисту від ураження струмом та суворому дотриманні правил роботи з частотними перетворювачами і щитами керування. Це створює умови для безпечної експлуатації обладнання та мінімізує ризики для персоналу, що є ключовим завданням охорони праці в енергетичних установках.

#### **4.5. Пожежна та вибухова безпека**

У модернізованій системі теплопостачання, яка поєднує роботу газових котлів та теплових насосів, питання пожежної та вибухової безпеки мають першочергове значення. Джерела потенційної небезпеки пов'язані насамперед із використанням природного газу, який є вибухонебезпечним

паливом, та з експлуатацією електрообладнання, що працює під високим навантаженням. У котельних приміщеннях існує ризик утворення газоповітряних сумішей у випадку витoku, а також можливість займання електричних кабелів чи короткого замикання в системах живлення теплових насосів. Саме тому проектування та експлуатація таких установок повинні здійснюватися з урахуванням вимог пожежної безпеки, визначених чинними нормами.

Для запобігання аварійним ситуаціям у котельні передбачаються системи автоматичного контролю та сигналізації. Вони включають датчики витoku газу, температури та диму, які забезпечують раннє виявлення небезпечних відхилень. У разі спрацювання сигналізації система пожежогасіння повинна автоматично активуватися, використовуючи водяні чи порошкові установки залежно від характеру загрози. Важливим є також забезпечення належної вентиляції приміщень, що дозволяє уникати накопичення вибухонебезпечних концентрацій газу та перегріву електрообладнання.

Організаційні заходи пожежної безпеки передбачають розробку та впровадження плану евакуації персоналу. Усі працівники котельні та насосних станцій повинні бути ознайомлені з алгоритмом дій у випадку пожежі чи вибуху. План евакуації має включати чітко позначені виходи, резервні маршрути та місця збору персоналу після залишення небезпечної зони. Крім того, проводяться регулярні навчання та тренування, які дозволяють відпрацювати практичні навички реагування на аварійні ситуації.

Пожежна та вибухова безпека у модернізованій системі теплопостачання базується на поєднанні технічних рішень — систем сигналізації, пожежогасіння та вентиляції — з організаційними заходами, що включають інструктажі, навчання та планування евакуації. Це створює комплексну систему захисту, яка мінімізує ризики для персоналу та

забезпечує безперервну й безпечну роботу котельні з інтегрованими тепловими насосами.

#### **4.6. Виробнича санітарія та гігієна праці**

У процесі експлуатації котельні з інтегрованими тепловими насосами важливим завданням є забезпечення належних санітарно-гігієнічних умов праці. Виробнича санітарія спрямована на створення такого мікроклімату, який дозволяє персоналу виконувати свої обов'язки без ризику для здоров'я та з максимальною продуктивністю. У приміщеннях котельні та насосних станцій температура, вологість і вентиляція повинні підтримуватися у межах нормативних значень. Це особливо актуально для модернізованої системи, де теплові насоси працюють у режимах високої теплової потужності, що може призводити до локального перегріву обладнання. Системи вентиляції мають забезпечувати ефективне видалення надлишкового тепла, а також підтримувати оптимальний рівень вологості, що запобігає утворенню конденсату на електричних елементах.

Не менш важливим є контроль рівня шуму та вібрацій. Робота компресорів теплових насосів і насосних агрегатів супроводжується акустичними навантаженнями, які при тривалому впливі можуть негативно позначатися на стані здоров'я працівників. Тому у приміщеннях передбачаються шумозахисні екрани, віброізоляційні вставки та регулярний моніторинг рівня шуму. Дотримання санітарних норм у цій сфері дозволяє знизити ризик професійних захворювань і створює комфортні умови для роботи персоналу.

Освітлення робочих місць у котельні та насосних приміщеннях має відповідати вимогам виробничої гігієни. Недостатнє або нерівномірне освітлення може призвести до помилок під час обслуговування обладнання, що створює додаткові ризики. Використання сучасних систем освітлення з регульованою інтенсивністю дозволяє забезпечити оптимальні умови для виконання робіт як у денний, так і в нічний час.

Важливим елементом виробничої санітарії є також організація водопостачання та санітарно-побутових приміщень. Персонал котельні повинен мати доступ до питної води, а також до приміщень для відпочинку, переодягання та гігієнічних процедур. Це не лише відповідає вимогам охорони праці, але й сприяє підтриманню високого рівня працездатності та зниженню ризику професійних захворювань.

Виробнича санітарія та гігієна праці у модернізованій системі теплопостачання з тепловими насосами охоплюють комплекс заходів, спрямованих на нормування мікроклімату, контроль шуму та вібрацій, забезпечення якісного освітлення та організацію санітарно-побутових умов. Виконання цих вимог є необхідною умовою безпечної та ефективної роботи персоналу, а також підвищує загальний рівень надійності системи.

#### **4.7. Аварійні ситуації та дії персоналу**

Експлуатація котельні з інтегрованими тепловими насосами передбачає роботу з обладнанням, яке функціонує під високими тепловими та електричними навантаженнями, а також використовує газ як паливо. Це створює потенційні ризики виникнення аварійних ситуацій, які можуть мати серйозні наслідки як для персоналу, так і для роботи всієї системи теплопостачання. Найбільш типовими аваріями є відмова насосного обладнання, витік холодоагенту з теплових насосів, вибух газу у котельних установках та пожежа, спричинена коротким замиканням або перегрівом електрообладнання.

У випадку відмови насосів основна небезпека полягає у порушенні циркуляції теплоносія, що може призвести до перегріву котлів або теплових насосів. Персонал повинен негайно перевести систему на резервні агрегати, а також повідомити диспетчерську службу для організації ремонту. При витoku холодоагенту важливо швидко локалізувати місце пошкодження, забезпечити вентиляцію приміщення та уникати контакту персоналу з робочою речовиною, яка може бути токсичною або вибухонебезпечною.

Найбільш небезпечними є аварії, пов'язані з газовим обладнанням. У випадку витoku чи вибуху газу персонал зобов'язаний негайно припинити подачу палива, відключити електроживлення та організувати евакуацію людей із приміщення. Подальші дії мають виконуватися лише спеціалізованими аварійними службами. При пожежі першочерговим завданням є активація системи пожежогасіння та повідомлення відповідних служб. Працівники повинні діяти відповідно до затвердженого плану евакуації, який передбачає використання основних і резервних виходів, а також визначає місця збору персоналу після залишення небезпечної зони.

Засоби першої допомоги та евакуації мають бути доступними у кожному виробничому приміщенні. Це включає аптечки з необхідними медикаментами, засоби для надання допомоги при опіках чи отруєннях, а також обладнання для евакуації постраждалих. Персонал повинен проходити регулярні тренування з надання першої допомоги та відпрацювання дій у разі аварійних ситуацій. Такий підхід дозволяє мінімізувати наслідки аварій та забезпечує збереження життя і здоров'я працівників.

Система дій персоналу при аварійних ситуаціях у модернізованій котельні з тепловими насосами базується на швидкому реагуванні, чіткому алгоритмі переходу на резервні режими, організації евакуації та застосуванні засобів першої допомоги. Це створює комплексну модель безпеки, яка дозволяє підтримувати стабільність роботи теплопостачання навіть у критичних умовах.

#### **4.8. Екологічні аспекти охорони праці**

У сучасних умовах модернізації систем теплопостачання питання екологічної безпеки тісно пов'язане з охороною праці. Робота котельні та теплових насосів впливає не лише на персонал, але й на довкілля, що вимагає комплексного підходу до організації виробничих процесів. Традиційні котельні, які працюють на природному газі, супроводжуються утворенням викидів оксидів азоту, вуглецю та інших продуктів згоряння.

Вони можуть негативно позначатися на якості повітря та створювати додаткові ризики для здоров'я працівників, особливо у випадку недостатньої вентиляції чи несправності систем димовидалення. Інтеграція теплових насосів у котельну схему дозволяє суттєво знизити обсяги таких викидів, адже робота насосів базується на використанні низькопотенційного тепла навколишнього середовища та електроенергії, що робить систему більш екологічною.

Зменшення негативного впливу на довкілля досягається завдяки впровадженню заходів із контролю та утилізації відходів. У котельні повинні функціонувати системи очищення димових газів, а також передбачатися технології утилізації шламу та відпрацьованих матеріалів. Для теплових насосів актуальним є питання утилізації та безпечного поводження з холодоагентами. Використання сучасних екологічно безпечних робочих речовин із низьким потенціалом глобального потепління (GWP) та відсутністю озоноруйнівного ефекту є важливою складовою охорони праці. Це не лише зменшує ризики для персоналу при обслуговуванні обладнання, але й відповідає міжнародним екологічним стандартам.

Особливу увагу слід приділити організації моніторингу екологічних показників. Регулярний контроль рівня викидів, стану вентиляційних систем та герметичності контурів теплових насосів дозволяє своєчасно виявляти відхилення та запобігати аварійним ситуаціям. Такий підхід забезпечує не лише дотримання вимог охорони праці, але й формує екологічно відповідальну модель експлуатації енергетичних установок.

Екологічні аспекти охорони праці у модернізованій системі теплопостачання полягають у мінімізації шкідливих викидів від котлів, безпечному використанні та утилізації холодоагентів у теплових насосах, а також у впровадженні систем моніторингу та очищення. Це створює умови для збереження здоров'я персоналу, зменшення негативного впливу на довкілля та підвищення загальної стійкості енергетичної системи.

## Висновки

Проведений аналіз показав, що охорона праці у котельні з інтегрованими тепловими насосами є комплексною системою, яка поєднує технічні, організаційні та екологічні заходи. Вона охоплює всі аспекти виробничої діяльності — від правильного монтажу та експлуатації обладнання до забезпечення санітарно-гігієнічних умов і підготовки персоналу до дій у випадку аварійних ситуацій. Такий підхід дозволяє не лише мінімізувати ризики для здоров'я працівників, але й забезпечити стабільну та ефективну роботу модернізованої системи теплопостачання.

Застосування сучасних засобів колективного та індивідуального захисту, впровадження систем автоматичного контролю, пожежогасіння та сигналізації створюють багаторівневу модель безпеки, яка відповідає вимогам чинного законодавства та міжнародних стандартів. Важливим є також формування культури безпеки серед персоналу, що досягається через регулярні інструктажі, навчання та практичні тренування. Це забезпечує готовність працівників до швидкого реагування на аварійні ситуації та знижує ймовірність виникнення критичних наслідків.

Особливе значення мають екологічні аспекти охорони праці, адже модернізована система теплопостачання повинна функціонувати не лише безпечно для персоналу, але й екологічно відповідально. Використання теплових насосів із сучасними холодоагентами, зменшення викидів від котлів та організація систем утилізації відходів сприяють зниженню негативного впливу на довкілля та відповідають стратегічним цілям енергетичної незалежності й сталого розвитку.

## Список використаної літератури

1. Снежкін Ю.Ф. Енергоефективні теплонасосні технології: стан та перспективи впровадження в Україні. Київ: ІТТФ НАН України, 2019. 220 с.
2. International Energy Agency. Heat pumps in district heating and cooling systems. Paris: IEA, 2020. 56 p.
3. USAID ESP. Energy Security Project: Modernization of District Heating in Ukraine. Kyiv: USAID, 2021. 72 p.
4. UABIO. Біоенергетика в Україні: стан та перспективи. Київ: Українська асоціація біоенергетики, 2020. 64 с.
5. Держенергоефективності України. Теплові насоси – альтернативне рішення для опалення. Київ: ДЕЕ, 2020. 28 с.
6. Науково-дослідний центр індустріальних проблем розвитку НАН України. Теплозабезпечення великих міст України: поточний стан і напрями модернізації. Харків: НДЦ ІПР НАНУ, 2021. 180 с.
7. European Commission. Energy Efficiency Directive 2018/2002/EU. Official Journal of the European Union, 2018.
8. Connolly D., Mathiesen B.V., Østergaard P.A. Heat Roadmap Europe: A low-carbon heating and cooling strategy. Energy Policy. Vol. 65, 2014. P. 475–489.
9. Werner S. District heating and cooling in Sweden. Energy. Vol. 126, 2017. P. 419–429.
10. Danish Energy Agency. Technology Data for Energy Plants: Generation of Electricity and District Heating. Copenhagen: DEA, 2020. 112 p.
11. Lund H., Østergaard P.A., Connolly D., Mathiesen B.V. Smart energy systems and 4th generation district heating. Energy. Vol. 110, 2016. P. 1–10.
12. European Heat Pump Association. Heat Pump Market and Statistics Report. Brussels: EHPA, 2023. 84 p.
13. IRENA. Renewable Energy in District Heating and Cooling: A Sector Roadmap. Abu Dhabi: IRENA, 2021. 92 p.
14. Persson U., Werner S. Heat distribution and the future of district heating. Energy. Vol. 137, 2017. P. 617–626.
15. Falk A. Summary report on heat pumps in district heating systems. RISE Research Institutes of Sweden, 2021. 45 p.
16. Kaltschmitt M., Streicher W., Wiese A. Renewable Energy: Technology, Economics and Environment. Berlin: Springer, 2007. 798 p.

17. Dincer I., Rosen M.A. Exergy: Energy, Environment and Sustainable Development. Amsterdam: Elsevier, 2013. 576 p.
18. Hepbasli A. A key review on exergetic analysis and assessment of renewable energy resources for a sustainable future. Renewable and Sustainable Energy Reviews. Vol. 12, 2008. P. 593–661.
19. Jiménez-Navarro J.P., Filippidou F., Kavvadias K., Carlsson J. Efficient District Heating and Cooling. JRC Report EUR 30986 EN. Luxembourg: Publications Office of the EU, 2022. 102 p.
20. REN21. Renewables 2023 Global Status Report. Paris: REN21 Secretariat, 2023. 368 p.
21. European Environment Agency. Renewable energy in Europe 2022: Recent growth and integration. Luxembourg: Publications Office of the EU, 2022. 120 p.
22. Element Energy, Carbon Alternatives. Heat Pumps in District Heating: Final Report. UK Department of Energy & Climate Change, 2016. 74 p.
23. Sustainable Energy Authority of Ireland. District Heating and Cooling: Spatial Analysis of Infrastructure Costs and Potential in Ireland. Dublin: SEAI, 2022. 88 p.