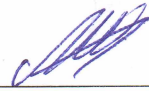


Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
Машинобудівний навчально-науковий інститут
Кафедра експлуатації суднових енергетичних установок та теплоенергетика

«Допущений до захисту»

В.о. завідувача кафедри
ЕСЕУ та ТЕ

 к.т.н., доцент Б.М. Личко

« _____ » _____ 2024 р.

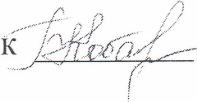
КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
на здобуття ступеня вищої освіти МАГІСТР

на тему: Проектування енергоефективної системи опалення для житлового
об'єкта на основі інтеграції теплового насоса в комбіновану енергетичну систему

Виконала: студентка 2-го курсу групи 6241мх,
Спеціальність 144 «Теплоенергетика»
Освітня програма «Теплоенергетика»

 Ненашева А.І.

(прізвище та ініціали)

Керівник  к.т.н., доц. Г.О. Кобалава

Миколаїв – 2024

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
Машинобудівний навчально-науковий інститут
Кафедра експлуатації суднових енергетичних установок та теплоенергетика

Ступінь магістр
Галузь знань 14 «Електрична інженерія»
Спеціальність 144 «Теплоенергетика»
Освітня програма «Теплоенергетика»

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувача кафедри ЕСЕУ та ТЕ
Личко Б.М.

“ ” 2024 року

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ
на здобуття ступеня вищої освіти МАГІСТР**

Ненашева Аліна Ігорівна

(прізвище, ім'я, по батькові)

I. Тема роботи Проектування енергоефективної системи опалення для житлового об'єкта на основі інтеграції теплового насоса в комбіновану енергетичну систему

(проект, реконструкція, модернізація енергетичної установки, інженерних систем та ін. з розробкою конструктивного елемента об'єкту)

керівник роботи Кобалава Г.О., канд.техн.наук, доцент

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

затверджені наказом закладу вищої освіти від “ ” 2024 року №

II. Строк подання студентом роботи

III. Вихідні дані до роботи

(призначення, умови експлуатації, технічні дані з потреб в енергії чи енергоносіях)

IV. Зміст розрахунково-пояснювальної записки та графічного матеріалу

Вступ (Обґрунтування актуальності теми роботи)

Перелік умовних позначень, символів, одиниць, скорочень і термінів (за необхідності)

1. Загальний розділ (Аналіз сучасних технологій та систем опалення в житловому секторі. Основні напрямки підвищення енергоефективності теплоенергетичного обладнання. Теоретичні основи функціонування теплонасосних установок та їх інтеграції в комбіновані енергетичні системи. Кліматичні та технічні передумови впровадження енергоефективних систем опалення в умовах України. Постановка мети та завдань дослідження).

2. Теоретичний розділ (Теоретико-методичні підходи до оцінки споживання енергетичних ресурсів у системах теплопостачання. Методологія обробки та аналізу результатів енергетичного моніторингу. Характеристика об'єкта дослідження та складові установки системи енергозабезпечення).

3. Розрахунковий розділ (Аналіз кліматичних даних та їх впливу на режими теплоспоживання. Діагностика теплоенергетичного потенціалу системи теплопостачання. Розробка напрямків підвищення енергоефективності теплозабезпечення).

4. Дослідницький розділ. (Розробка технічних схем системи теплопостачання з використанням теплових насосів. Моделювання теплоенергетичних режимів системи теплопостачання в умовах змінних кліматичних параметрів. Аналіз економічної

ефективності застосування нового схемного рішення в системі теплопостачання. Аналіз довгострокової економічної ефективності запропонованого технічного рішення).

5. Розділ з охорони праці (Заходи з охорони праці при експлуатації та монтажі теплових насосів. Аспекти збереження екології).

6. Заключний розділ (Висновки).

7. Перелік презентаційних матеріалів (План розташування обладнання у приміщенні чи на території (2-3 креслення), аналіз метеорологічних даних (1 креслення), розробка технічного рішення (1 креслення), результати моделювання характеристик системи теплопостачання (1 креслення), оцінка економічної ефективності застосування нового схемного рішення (1 креслення).

Список використаних джерел.

Додатки(за необхідності)

V. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
	Отримання завдань у керівника та консультантів		
	Вступ		
	Загальний розділ		
	Теоретичний розділ		
	Розрахунковий розділ		
	Дослідницький розділ		
	Розділ з охорони праці		
	Заключний розділ		
	Графічна частина		
	Підпис у керівника. Розглядання роботи на кафедрі		
	Захист роботи перед ЕК		

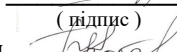
Студент


(підпис)

Ненашева А.І.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи


(підпис)

Кобалава Г.О.

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Ненашева А.І. «Проектування енергоефективної системи опалення для житлового об'єкта на основі інтеграції теплового насоса в комбіновану енергетичну систему».

Кваліфікаційна робота на здобуття кваліфікації магістр за спеціальністю 144 – «Теплоенергетика» (освітньо-професійна програма: «Теплоенергетика»). Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, Міністерство освіти і науки України, Миколаїв, 2024 р.

В роботі розв'язано актуальне завдання підвищення енергетичної ефективності систем тепlopостачання шляхом розроблення нового схемного рішення з інтеграцією теплового насоса в комбіновану систему опалення. Дослідження полягає у встановленні закономірностей впливу зовнішньої температури та параметрів теплоносія на режими роботи комбінованої системи тепlopостачання з газовим котлом і тепловим насосом. Запропоновано методику проектування енергоефективної системи опалення з урахуванням погодозалежного режиму роботи обладнання. Практичне значення роботи підтверджено результатами, які демонструють економію природного газу в межах 22–64% та фінансову економію 326,0–614,0 тис. грн на рік. Розроблена методика особливо ефективна для кліматичних умов півдня України, де близько половини зимового періоду температура перевищує 4°C.

Кваліфікаційна робота складається з пояснювальної записки на 94 аркуші, 2 таблиці, 36 рисунка, списку з 27 використаних джерел та графічної частини на слайдах презентації.

					КР.144.6241мх.05.00.ПЗ	Лист
						4
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

ABSTRACT

Nenasheva A.I. “Design of an Energy-Efficient Heating System for a Residential Building Based on the Integration of a Heat Pump into a Combined Energy System”.

Master's thesis for obtaining a master's degree in specialty 144 – "Heat Power Engineering" (educational program: "Heat Power Engineering"). – Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Ministry of Education and Science of Ukraine, Mykolayiv, 2024.

The work solves an urgent task of improving the energy efficiency of heat supply systems by developing a new circuit solution with the integration of a heat pump into a combined heating system. The study focuses on establishing patterns of the influence of external temperature and heat carrier parameters on the operation modes of a combined heat supply system with a gas boiler and heat pump. A methodology for designing an energy-efficient heating system, taking into account the weather-dependent equipment operation mode, has been proposed. The practical significance of the work is confirmed by results demonstrating natural gas savings within 22–64% and financial savings of 326.0–614.0 thousand UAH per year. The developed methodology is particularly effective for the climatic conditions of southern Ukraine, where temperatures exceed 4°C for approximately half of the winter period.

The qualification thesis consists of an explanatory note of 94 pages, 2 tables, 36 figures, a list of 27 references, and a graphic part presented on slides.

					КР.144.6241мх.05.00.ПЗ	Лист
						5
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ	8
ВСТУП	9
1. ЗАГАЛЬНИЙ РОЗДІЛ.....	12
1.1. Аналіз сучасних технологій та систем опалення в житловому секторі....	12
1.2. Теоретичні основи функціонування теплонасосних установок та їх інтеграції в комбіновані енергетичні системи.....	17
1.3. Кліматичні та технічні передумови впровадження енергоефективних систем опалення в умовах України.	21
1.4. Постановка мети та завдань дослідження.....	24
1.5. Висновки по розділу 1.....	25
2. ТЕОРЕТИЧНИЙ РОЗДІЛ.....	28
2.1. Теоретико-методичні підходи до оцінки споживання енергетичних ресурсів у системах теплопостачання.	28
2.2. Методологія обробки та аналізу результатів енергетичного моніторингу.....	31
2.3. Характеристика об'єкта дослідження та складові установки системи енергозабезпечення.	37
2.4. Висновки по розділу 2.....	40
3. РОЗРАХУНКОВИЙ РОЗДІЛ.....	42
3.1. Аналіз кліматичних даних та їх впливу на режими теплоспоживання. ...	42
3.2. Діагностика теплоенергетичного потенціалу системи теплопостачання.	44
3.3. Розробка напрямків підвищення енергоефективності теплозабезпечення.	49
3.4. Висновки по розділу 3.....	51
4. ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ	54
4.1. Розробка технічних схем системи теплопостачання з використанням теплових насосів.	54

4.2. Моделювання теплоенергетичних режимів системи тепlopостачання в умовах змінних кліматичних параметрів.	58
4.3. Аналіз економічної ефективності застосування нового схемного рішення в системі тепlopостачання.	71
4.4. Висновки по розділу 4.....	75
5. РОЗДІЛ З ОХОРОНИ ПРАЦІ.....	78
5.1. Заходи з охорони праці при експлуатації та монтажі теплових насосів. .	78
5.2. Аспекти збереження екології.	84
5.3. Висновки по розділу 5.....	86
ВИСНОВКИ	88
ЛІТЕРАТУРА	90

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ

COP – coefficient of performance;

SCADA – Supervisory Control And Data Acquisition;

ГВП – гаряче водопостачання;

ЄС – Європейський Союз;

ДСТУ – Державний стандарт України;

ІТП – індивідуальний тепловий пункт;

КВПіА -контрольно-вимірювальні прилади і автоматика;

ККД – коефіцієнт корисної дії;

НС – насосна станція;

ПЗ – програмне забезпечення;

ПЕР – паливно-енергетичні ресурси;

ПРА – пускорегулювальний апарат;

СЕНМ – система енергетичного менеджменту;

СЦТ – система централізованого теплопостачання;

ТЕЦ – теплоелектроцентраль;

ТЕС – теплова електрична станція;

ТН – тепловий насос;

ШРП – шафовий газорегулюючий пункт;

ЦТП – центральний тепловий пункт.

					КР.144.6241мх.05.00.ПЗ	Лист
						8
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

ВСТУП

Сучасні виклики у сфері енергетики та екології вимагають розроблення інноваційних підходів до проєктування систем теплопостачання, здатних забезпечити високу ефективність використання енергетичних ресурсів та мінімізувати негативний вплив на навколишнє середовище. Особливої актуальності набуває питання оптимізації систем опалення для житлових об'єктів, де традиційні методи теплозабезпечення демонструють низьку економічну та енергетичну ефективність.

Україна, яка має значний потенціал для впровадження альтернативних та відновлюваних джерел енергії, перебуває в процесі активної модернізації енергетичної інфраструктури. Зростання вартості традиційних енергоносіїв, необхідність зменшення залежності від викопних палив та прагнення до досягнення європейських стандартів енергоефективності зумовлюють пошук нових технологічних рішень у сфері теплопостачання.

Теплові насоси, як один з найперспективніших напрямків альтернативної енергетики, дозволяють суттєво підвищити ефективність систем опалення шляхом використання низькопотенційної теплової енергії навколишнього середовища. Їх інтеграція в комбіновані енергетичні системи відкриває широкі можливості для оптимізації теплоенергетичних режимів та зниження витрат на опалення.

Метою дослідження є модернізація енергоефективної системи опалення для житлового об'єкта шляхом інтеграції теплового насосу в комбіновану енергетичну систему з урахуванням кліматичних особливостей регіону.

Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати такі задачі:

- 1) проаналізувати існуючі схемні рішення систем теплопостачання та визначити напрямки підвищення їх енергетичної ефективності;
- 2) провести аналіз споживання енергоресурсів та запропонувати рекомендації щодо заходів з енергозбереження для системи теплопостачання житлового комплексу;

					КР.144.6241мх.05.00.ПЗ	Лист
						9
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

3) дослідити вплив зовнішніх кліматичних параметрів на ефективність роботи теплового насосу;

4) провести моделювання основних характеристик системи теплопостачання з метою визначення витрат енергоресурсів при застосуванні нових схемних рішень;

5) здійснити техніко-економічну оцінку ефективності впровадженого рішення.

Об'єктом дослідження є система теплопостачання житлового будинку.

Предметом дослідження є характеристики роботи системи опалення шляхом інтеграції теплового насосу з урахуванням зовнішніх кліматичних параметрів та особливостей функціонування обладнання.

Наукова новизна одержаних результатів.

Встановлено, що розроблене схемне рішення комбінованої системи теплопостачання з урахуванням погодозалежного режиму роботи обладнання забезпечує зниження витрат на опалення на 22–64%, що робить запропоновану методику економічно привабливою для впровадження в умовах України.

Структура та обсяг кваліфікаційної роботи. Робота складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел з 27 найменувань. Загальний обсяг роботи складає 90 сторінок, містить 28 рисунки та 4 таблиці.

					КР.144.6241мх.05.00.ПЗ	Лист
						10
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

					КР.144.6241мх.05.01.ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
					Загальний розділ	Літ.	Арк.	Аркушів
Студент	Ненашева А.І.							
Керівник	Кобалава Г.О.							
Консульт.						НУК		
								11

1. ЗАГАЛЬНИЙ РОЗДІЛ

1.1. Аналіз сучасних технологій та систем опалення в житловому секторі.

Розвиток житлово-комунального сектору в умовах зростаючих вимог до енергоефективності та необхідності скорочення витрат на опалення обумовлює постійний пошук інноваційних технологічних рішень. Сучасні системи опалення житлових об'єктів характеризуються складною інтеграцією технічних систем, де традиційні підходи поступаються місцем високоефективним та багатокомпонентним енергетичним комплексам. Комплексний аналіз існуючих технологій опалення дозволяє не лише оцінити поточний стан галузі, але й визначити стратегічні напрямки її подальшої модернізації з урахуванням технічних, економічних та екологічних чинників.

Система опалення є комплексом взаємопов'язаних елементів, які забезпечують ефективне створення, транспортування та розподіл тепла в приміщеннях. Для належного функціонування така система потребує визначеної теплової потужності, яка розраховується шляхом аналізу теплового балансу при найнижчих зовнішніх температурах [1, 2].

Протягом опалювального сезону тепла потужність використовується диференційовано, залежно від поточних тепловтрат. Це досягається шляхом регулювання температури або обсягу теплоносія. Типова система опалення складається з трьох основних компонентів: теплогенератора, теплопроводів та опалювальних приладів.

Теплогенератором може слугувати котельний агрегат чи теплообмінник, де відбувається нагрів теплоносія. Системи опалення можуть використовувати один або декілька теплоносіїв, серед яких найпоширенішими є вода, водяна пара та повітря. Вибір теплоносія залежить від його фізичних властивостей, теплотехнічних характеристик, вартості та експлуатаційних витрат.

					КР.144.6241мх.05.01.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		12

У випадках можливого замерзання, особливо в перехідні сезони, застосовують спеціальні добавки, такі як етиленгліколь чи пропіленгліколь, які знижують температуру застигання рідини [1].

Ключова мета системи опалення – підтримання комфортної температури в приміщенні з максимальною ефективністю та мінімальними витратами.

Тенденції розвитку опалювальних технологій характеризуються неухильним рухом у напрямку підвищення енергоефективності та екологічності систем опалення. Сучасні інженерні рішення спрямовані на створення максимально раціональних теплових систем, які не лише забезпечують комфортну температуру в приміщеннях, але й мінімізують витрати енергоресурсів та негативний вплив на навколишнє середовище.

Визначальними трендами є впровадження smart-технологій та інтелектуальних систем керування опаленням. Мова йде про використання цифрових термостатів, які дозволяють програмувати температурний режим, системи віддаленого контролю через мобільні додатки, датчики присутності та автоматизовані рішення, що адаптують роботу опалювальної системи залежно від зовнішніх умов, кількості людей у приміщенні та індивідуальних переваг користувачів.

Перспективними напрямками розвитку опалювальних технологій є активне впровадження альтернативних та відновлюваних джерел енергії. Йдеться про геотермальні теплові насоси, сонячні колектори, системи когенерації та використання біопалива. Такі технологічні рішення не лише зменшують залежність від традиційних енергоносіїв, але й суттєво знижують вуглецевий слід, роблячи опалення більш екологічним та економічно вигідним.

Основні проблеми існуючих систем опалення пов'язані з низькою енергетичною ефективністю та значними тепловтратами, що характеризуються застарілими технічними рішеннями та недосконалою теплоізоляцією. Більшість традиційних опалювальних систем мають суттєві недоліки в конструктивних елементах, які призводять до нераціонального використання теплової енергії,

підвищених експлуатаційних витрат та незабезпечення оптимального температурного режиму в опалюваних приміщеннях. Серйозною проблемою залишається висока вартість експлуатації та технічного обслуговування опалювальних систем, особливо для централізованих мереж та застарілого обладнання. Моральне та фізичне зношення теплогенеруючого устаткування, відсутність сучасних систем автоматизованого контролю та регулювання призводять до неефективного споживання паливно-енергетичних ресурсів, що безпосередньо позначається на економічній складовій утримання житлового та комунального господарства.

Додатковими проблемними аспектами є екологічні обмеження та низька адаптивність існуючих опалювальних систем до зміни зовнішніх кліматичних умов. Переважна більшість систем опалення не забезпечує гнучкого реагування на коливання зовнішньої температури, не має ефективних механізмів акумуляції та перерозподілу теплової енергії, що унеможливує досягнення максимальної енергозберігаючої ефективності та створення комфортних умов мікроклімату в приміщеннях.

Класифікація сучасних систем опалення є складним і багатогранним процесом, що враховує різноманітні технічні, технологічні та експлуатаційні параметри. Представлена класифікація систем опалення розкриває широкий спектр підходів до організації теплозабезпечення приміщень, демонструючи еволюцію інженерних рішень від традиційних до високотехнологічних (табл. 1.1). Вона дозволяє систематизувати наявні типи опалювальних систем за ключовими критеріями: джерелом теплоти, типом теплоносія, способом передачі тепла, видом опалювальних приладів, рівнем екологічності та автоматизації. Така класифікація не лише надає повну картину сучасних технологічних можливостей, але й допомагає споживачам та фахівцям більш усвідомлено підходити до вибору оптимальної системи опалення з урахуванням індивідуальних потреб, кліматичних умов, економічної доцільності та екологічних вимог.

					КР.144.6241мх.05.01.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		14

Таблиця 1.1. Класифікація сучасних систем опалення.

Критерій класифікації	Типи систем опалення	Характеристика
За джерелом теплоти	Централізоване	Теплоносієм постачається від зовнішньої теплоцентралі
	Автономне	Власний теплогенератор (котел) на території будинку
	Індивідуальне	Локальні опалювальні прилади в кожному приміщенні
За теплоносієм	Водяне	Вода як основний теплоносієм
	Парове	Водяна пара як теплоносієм
	Повітряне	Нагріте повітря як теплоносієм
	Електричне	Електроенергія для обігріву
За способом передачі тепла	Конвективне	Нагрів повітря через конвекційні потоки
	Радіаційне	Пряме випромінювання тепла
	Комбіноване	Поєднання конвекції та радіації
За типом опалювальних приладів	Радіаторне	Металеві або біметалеві радіатори
	Конвекторне	Повітряні конвектори
	Теплопідлогове	Нагрівальні елементи в підлозі
	Панельне	Нагрівальні панелі на стінах
За екологічністю	Традиційні	Використання викопного палива
	Альтернативні	Геотермальні, сонячні, біопаливні системи
За рівнем автоматизації	Ручне керування	Без автоматичних систем регулювання
	Програмоване	З електронними терморегуляторами
	Інтелектуальне	Smart-системи з віддаленим керуванням
За мобільністю	Стаціонарні	Постійно встановлені системи
	Мобільні	Переносні опалювальні прилади

Порівняльна характеристика опалювальних технологій виявляє суттєві відмінності між традиційними та інноваційними системами за ключовими

параметрами ефективності, економічності та екологічності. Водяні системи опалення залишаються найпоширенішими через відносно невисоку вартість і простоту експлуатації, проте поступаються місцем інтелектуальним технологіям з використанням відновлюваних джерел енергії. Геотермальні теплові насоси демонструють значно вищий коефіцієнт корисної дії порівняно з класичними котлами, забезпечуючи економію до 70% витрат на опалення, а сонячні колектори та біопаливні системи створюють майже нульовий вуглецевий слід. Електричні системи, зокрема теплові панелі та підлогове опалення, характеризуються точним температурним контролем і майже повною відсутністю шуму, проте мають вищу вартість експлуатації. Сучасні мультисистемні рішення з інтеграцією smart-технологій дозволяють не лише оптимізувати енергоспоживання, але й забезпечити максимальний комфорт через автоматизоване налаштування температурних режимів залежно від зовнішніх умов та індивідуальних переваг користувачів.

Аналіз закордонного досвіду впровадження інноваційних систем опалення є ключовим кроком для адаптації передових технологій у локальних умовах. Розвинені країни, такі як Німеччина, Швеція та Японія, демонструють успішні приклади використання енергоефективних рішень, зокрема теплових насосів, сонячних колекторів та систем з використанням біоенергії. Вивчення їхніх підходів дозволяє зрозуміти, як оптимізувати витрати, зменшити викиди парникових газів і забезпечити стабільне теплопостачання. Такий досвід може бути використаний для формування стратегій модернізації опалювальної інфраструктури, що сприятиме підвищенню енергетичної безпеки та сталого розвитку країни.

Проведений аналіз сучасних технологій опалення демонструє, що найбільш перспективним напрямком розвитку систем теплозабезпечення є комплексні рішення, засновані на поєднанні відновлюваних джерел енергії, інтелектуальних систем управління та високоефективного обладнання. Подальша оптимізація систем опалення вимагає не лише технічних інновацій,

але й системного підходу, який враховує регіональні особливості, індивідуальні потреби споживачів та загальні тенденції розвитку енергетичної інфраструктури. Інтеграція теплових насосів, акумулюючих систем та інтелектуальних алгоритмів керування становить основу майбутніх енергоефективних рішень у сфері опалення житлових об'єктів.

1.2. Теоретичні основи функціонування теплонасосних установок та їх інтеграції в комбіновані енергетичні системи.

Теплонасосні установки є одним із ключових компонентів сучасних енергоефективних систем опалення, які базуються на використанні низькопотенційного тепла навколишнього середовища. Їхня унікальна здатність перетворювати теплову енергію з повітря, води або ґрунту в корисне тепло дозволяє суттєво знижувати споживання традиційних енергоресурсів і зменшувати вплив на навколишнє середовище. У цьому підрозділі розглядаються основи роботи теплонасосів, їх типи, ключові параметри ефективності та перспективи інтеграції в комбіновані енергетичні системи для забезпечення сталого розвитку енергетики [3, 4].

За прогнозами Світового енергетичного комітету, до 2020 року у розвинених країнах теплопостачання переважно здійснюватиметься за допомогою теплових насосів. Ці пристрої використовують розсіяне в довкіллі тепло – із землі, води або повітря, яке фахівці називають низькопотенційним. Використання 1 кВт електроенергії для роботи насоса дозволяє отримати 3-4 кВт теплової енергії [5].

Теплові насоси широко застосовуються для опалення будівель, підігріву води, кондиціонування, осушення повітря та вентиляції приміщень. У країнах, таких як США, Японія, Німеччина, Швеція, Швейцарія, Австрія та Фінляндія, їх впровадження відбувається стрімкими темпами. Лідером у використанні цієї

технології є Швеція, яка реалізує масштабну програму з їх інтеграції. Зокрема, там для роботи теплових насосів використовується вода Балтійського моря з температурою +4 °С. Наприклад, станція потужністю 320 МВт розташована на шести баржах, пришвартованих до берега.

На сьогодні у світі експлуатується понад 15 мільйонів теплових насосів з потужністю від кількох кіловат до сотень мегават, а щорічний обсяг продажу цих установок становить близько мільйона одиниць.

Тепловий насос – це пристрій, який переносить теплову енергію від низькопотенційного джерела тепла, такого як повітря чи ґрунт, до споживача з вищою температурою. Для його функціонування необхідна зовнішня енергія, наприклад, механічна, електрична або хімічна. Теплові насоси бувають різних типів залежно від принципу роботи. Зокрема, існують сорбційні (абсорбційні та адсорбційні) і струменеві (пароінжекторні) установки, що застосовуються для утилізації надлишкового тепла, а також термоелектричні насоси, які використовуються в невеликих автомобільних холодильниках.

Однак найбільш поширеним типом теплових насосів є парокомпресійні установки, що домінують на ринку і використовуються переважно в побуті. Їхня робота базується на циклі Карно – фундаментальному положенні термодинаміки, яке реалізується в замкнутій системі й може працювати як у прямому, так і в зворотному напрямку. Завдяки цьому такі установки здатні виконувати функції як кондиціонера, так і теплового насоса, об'єднуючи в одному пристрої системи опалення та охолодження. Парокомпресійні насоси використовують механічну енергію, отримуючи живлення від електроенергії. Робочий цикл теплового насоса заснований на перенесенні температури робочим тілом (холодоагентом) внаслідок зміни тиску та фазового переходу – з рідкого стану в газоподібний і навпаки, під впливом механічної дії (рис. 1.1).

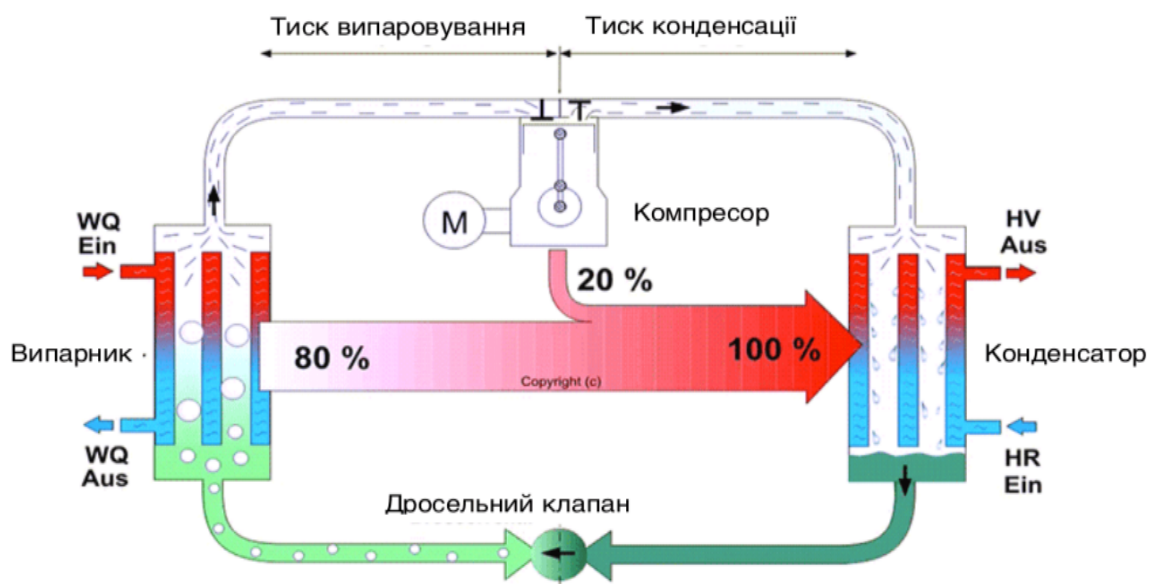


Рис. 1.1. Принципова схема теплового насосу.

Тепловий насос «повітря-вода» використовується для опалення з максимальною ефективністю. Головна його перевага – це економічність. Теплові насоси «повітря-вода» на кожен спожитий 1 кВт електричної енергії здатні виробляти до 5 кВт теплової (рис. 1.2). Таким чином, система опалення стає набагато ефективнішою.

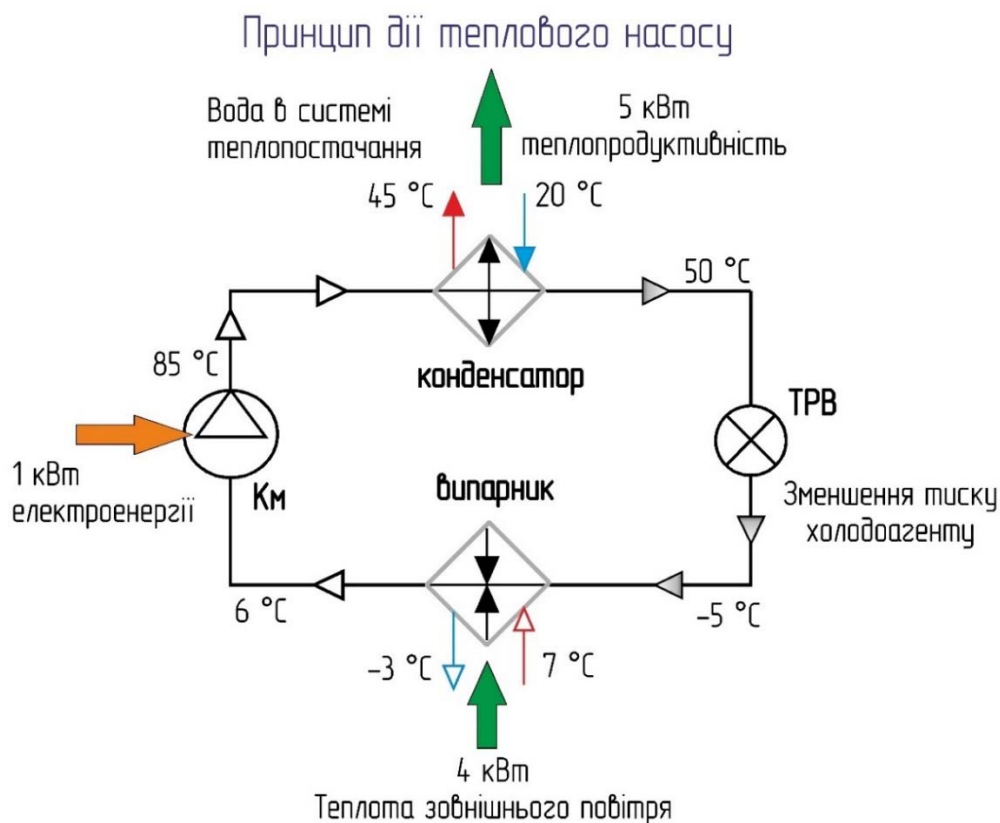


Рис. 1.2. Принцип дії теплового насосу.

Принцип дії теплового насоса «повітря-вода» складається з наступних етапів:

- зовнішній блок за допомогою холодоагента забирає теплову енергію із зовнішнього повітря (власне джерела тепла). Далі холодоагент надходить у компресор, де вже після стиснення, його температура значно збільшується;
- гарячий холодоагент (вже у формі пари) надходить в теплообмінник внутрішнього блоку фреон-вода;
- холодоагент безпосередньо передає тепло воді, яка вже самостійно переносить його до елементів системи опалення;
- холодоагент (повернений в рідку форму) надходить вже у зовнішній блок, і цикл повторюється по колу, доки не буде досягнуто необхідної температури в приміщенні.

Більше однієї шостої світового попиту на природний газ припадає на опалення будівель – в Європейському Союзі цей показник становить одну третину. У 2021 році близько 10% світових потреб в опаленні приміщень було задоволено за допомогою теплових насосів, тим не менш, темпи їх встановлення швидко зростають. У деяких країнах теплові насоси є найбільшим джерелом опалення. У Норвегії 60% будівель оснащені тепловими насосами, а Швеції та Фінляндії – понад 40%, що спростовує твердження, що теплові насоси не підходять для холодного клімату. У 2021 році світовий продаж зріс майже на 15%, що вдвічі перевищує середній показник за останнє десятиліття. Зростання в Європейському Союзі склало близько 35%, і у світлі енергетичної кризи вона, як очікується, продовжить прискорюватися. Також теплові насоси зможуть забезпечувати охолодження, що усуває потребу в окремому кондиціонері для 2,6 мільярдів людей, які будуть проживати в регіонах, де потрібне як опалення, так і охолодження до 2050 року. Також потрібно врахувати, що на опалення будівель припадає 4 гігатони викидів CO₂ щорічно – це 10% світових викидів [6, 7].

Все вищевказане дозволяє визначити переваги застосування теплових насосів для систем теплопостачання житлових будинків:

					КР.144.6241мх.05.01.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		20

1. Використання теплових насосів дозволяє суттєво зекономити споживання природного газу або інших видів органічного палива для опалення та гарячого водопостачання. Економія може сягати 50-70% порівняно з традиційними газовими котлами.

2. Застосування теплонасосних установок зменшує викиди парникових газів в атмосферу, що робить їх більш екологічним рішенням для теплозабезпечення.

3. Теплові насоси можуть використовувати поновлювані низькопотенційні джерела теплової енергії (грунт, повітря, вода), тим самим зменшуючи залежність від викопного палива.

4. Застосування теплонасосних установок дозволяє створити автономні системи опалення та гарячого водопостачання, незалежні від міських тепломереж.

Отже, використання теплових насосів в системах теплопостачання житлових будинків є доцільним та перспективним напрямком, що поєднує економічні та екологічні переваги. Інтеграція теплонасосів із традиційними та відновлюваними джерелами енергії дозволяє створити гнучкі та стійкі до змін клімату енергосистеми. Незважаючи на певні виклики, такі як висока початкова вартість і залежність від кліматичних умов, перспективи використання теплонасосних технологій є надзвичайно значущими для майбутнього енергетики.

1.3. Кліматичні та технічні передумови впровадження енергоефективних систем опалення в умовах України.

Впровадження енергоефективних систем опалення в Україні є актуальним завданням, зумовленим як кліматичними, так і технічними особливостями регіону. Україна належить до країн із помірно континентальним кліматом, що

характеризується значними перепадами температур упродовж року. Зимовий період триває кілька місяців, а середньомісячні температури у холодний сезон нерідко опускаються нижче 0 °С, що створює значне навантаження на системи теплопостачання. У цих умовах ефективне використання енергоресурсів є не лише економічною необхідністю, а й важливим екологічним завданням.

Технічний стан більшості систем опалення в Україні є застарілим, що призводить до високих втрат енергії, низької ефективності теплопостачання та збільшення витрат на обслуговування. До цього додається залежність від традиційних викопних джерел енергії, таких як природний газ, які мають нестабільні ціни та обмежений доступ у кризових ситуаціях. Така ситуація вимагає пошуку альтернативних рішень, зокрема впровадження сучасних енергоефективних технологій, здатних мінімізувати енергетичні витрати, знизити викиди парникових газів та підвищити енергетичну незалежність країни.

Кліматичні умови та їх вплив на потребу в опаленні

Україна характеризується значною регіональною різноманітністю кліматичних умов (рис. 1.3).

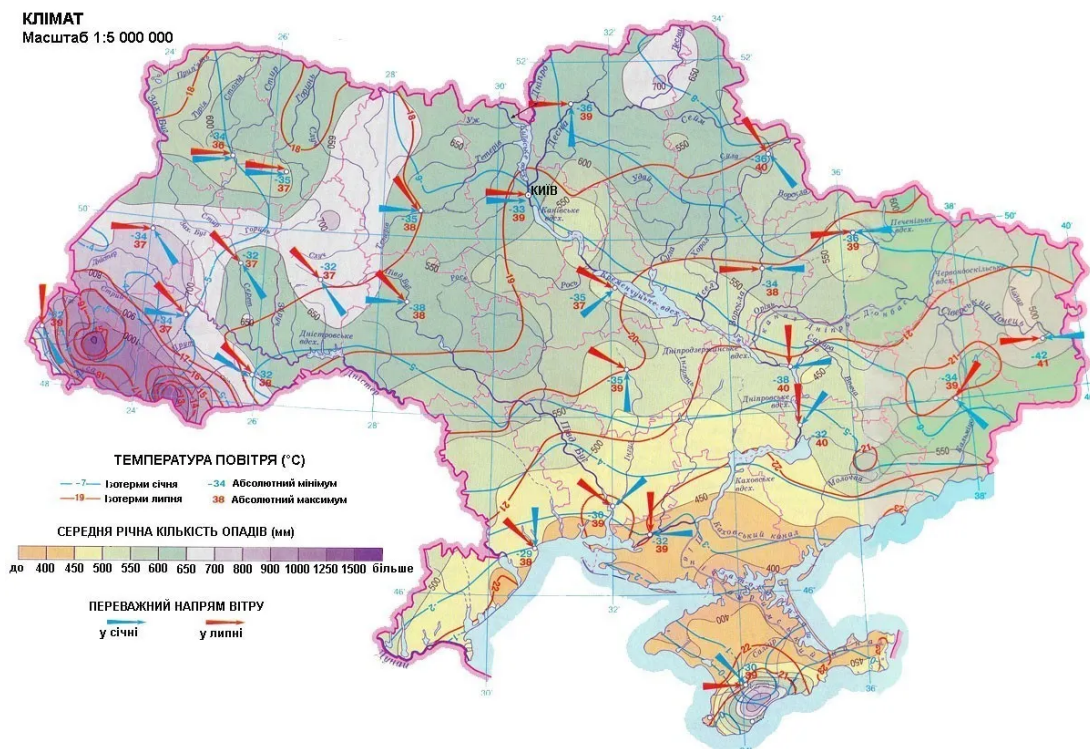


Рис. 1.3. Кліматичні умови України.

У північних і центральних областях зими є тривалими та суворими, що вимагає інтенсивного опалення. У південних регіонах, включаючи Кримський півострів, зимовий період короткий і тепліший, що створює передумови для використання систем із нижчим рівнем енергоспоживання. Водночас сезонні коливання температури від -20°C узимку до $+35^{\circ}\text{C}$ улітку вимагають адаптивних рішень, таких як теплові насоси, що забезпечують як опалення, так і кондиціювання.

Таким чином, аналіз кліматичних умов і технічного потенціалу України є важливим для визначення шляхів адаптації та впровадження передових систем опалення, що сприятиме сталому розвитку енергетики й економіки в цілому.

Технічний стан існуючих систем теплопостачання

Переважає більшість систем теплопостачання в Україні побудована ще за радянських часів. Ці системи мають низьку енергоефективність через моральне та фізичне зношення обладнання, значні теплові втрати в мережах і застарілі будівельні стандарти. Котельні та магістралі централізованого опалення часто працюють із коефіцієнтом корисної дії (ККД) нижче сучасних норм. Це створює необхідність модернізації інфраструктури, заміни старих котлів на більш ефективні та впровадження інноваційних систем.

Енергетична залежність і потреба в альтернативних джерелах енергії

Україна має значну залежність від імпорту природного газу, який становить основу енергобалансу в опаленні. Ця залежність не лише економічно обтяжлива, але й створює ризики для енергетичної безпеки країни. У зв'язку з цим стає актуальним перехід на відновлювані джерела енергії, такі як біомаса, сонячна енергія, геотермальна енергія та енергія повітря. Зокрема, теплові насоси, сонячні колектори та пелетні котли демонструють високу ефективність у кліматичних умовах України.

Потенціал застосування інноваційних технологій

Розвиток енергоефективних систем в Україні стимулюється низкою технічних інновацій. Сучасні системи управління тепlopостачанням із використанням автоматизації дозволяють оптимізувати споживання енергії залежно від погодних умов і потреб будівель. Інтеграція теплових насосів, комбінованих установок і гібридних систем із використанням кількох джерел енергії сприяє підвищенню ефективності.

Роль державної політики та міжнародного досвіду

Успішна модернізація систем опалення в Україні можлива за умов активної державної підтримки та врахування міжнародного досвіду. Зокрема, країни Скандинавії, які мають подібний клімат, досягли значного прогресу завдяки комплексним програмам впровадження енергоефективних технологій, стимулюванню інвестицій у відновлювану енергетику та популяризації енергоощадних рішень серед населення.

Впровадження енергоефективних систем опалення в Україні потребує врахування кліматичних особливостей, модернізації застарілої інфраструктури та адаптації до сучасних технологічних викликів. Такий підхід дозволить забезпечити економію ресурсів, знизити енергетичну залежність і покращити екологічну ситуацію в країні.

1.4. Постановка мети та завдань дослідження

На основі представленого вище аналізу сформульовано мету, завдання, об'єкт та предмет дослідження.

Метою дослідження є розроблення проектного рішення з підвищення енергоефективності системи опалення об'єкта дослідження шляхом інтеграції теплового насоса в комплексну систему енергозабезпечення з урахуванням кліматичних, технологічних та економічних чинників.

Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати такі задачі:

					КР.144.6241мх.05.01.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		24

- 1) провести комплексний аналіз сучасних технологій опалення та тенденцій розвитку систем енергозабезпечення житлових об'єктів;
- 2) провести аналіз споживання енергоресурсів та запропонувати рекомендації щодо заходів з енергозбереження для системи теплопостачання житлового комплексу;
- 3) Провести теоретичне моделювання роботи теплового насоса та основних характеристик системи теплопостачання з метою визначення витрат енергоресурсів при застосуванні нових схемних рішень;
- 4) проаналізувати економічну ефективність розроблених заходів із енергозбереження та визначити подальші шляхи для вдосконалення системи енергопостачання житлового комплексу.

Об'єктом дослідження є система теплопостачання досліджуваного об'єкта з використанням теплонасосних технологій.

Предметом дослідження є методи та засоби підвищення енергетичної ефективності системи опалення шляхом інтеграції теплового насоса в комбіновану енергетичну систему.

Результати проведеного аналізу підтверджують актуальність обраного напрямку дослідження та створюють надійне теоретичне підґрунтя для подальших наукових розробок у сфері енергоефективних технологій опалення.

1.5. Висновки по розділу 1.

- 1) Сучасний стан систем опалення в житловому секторі характеризується стійкою тенденцією до впровадження інноваційних технологій, спрямованих на підвищення енергетичної ефективності, зниження експлуатаційних витрат та мінімізацію негативного впливу на навколишнє середовище.
- 2) Теоретичні основи функціонування теплонасосних установок доводять їх принципову здатність забезпечувати високоефективне перетворення

низькопотенційної теплової енергії зовнішнього середовища в теплову енергію для опалення з коефіцієнтом перетворення (COP) 3-5 одиниць, що робить їх перспективною альтернативою традиційним системам теплозабезпечення.

3) Кліматичні умови України створюють сприятливе підґрунтя для впровадження теплонасосних технологій, оскільки середньорічна температура та геологічні особливості дозволяють ефективно використовувати як ґрунтові, так і повітряні теплові насоси з мінімальними технічними обмеженнями.

4) Визначені мета та завдання дослідження, які охоплюють послідовне вирішення теоретичних, методологічних та практичних питань підвищення енергетичної ефективності систем опалення житлових об'єктів, що забезпечує системність та комплексність наукового пошуку.

					КР.144.6241мх.05.01.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		26

					КР.144.6241мх.05.02.ПЗ					
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						
					Теоретичний розділ			Літ.	Арк.	Аркушів
Студент		Ненашева А.І.								
Керівник		Кобалава Г.О.								
Консульт.								НУК		
								27		

2. ТЕОРЕТИЧНИЙ РОЗДІЛ

2.1. Теоретико-методичні підходи до оцінки споживання енергетичних ресурсів у системах тепlopостачання.

Дослідження ефективності систем тепlopостачання вимагає комплексного та багатовекторного методологічного підходу, здатного враховувати складну взаємодію технічних, економічних та кліматичних чинників. Сучасні виклики в галузі енергозбереження та зменшення техногенного навантаження на навколишнє середовище висувають принципово нові вимоги до методів аналізу та прогнозування енергетичних потоків у системах теплозабезпечення.

Таким чином, метою запровадження моніторингу споживання енергетичних ресурсів є оцінка ефективності використання енергоносіїв, а також пошуку можливостей зниження витрат на енергетичні ресурси.

Основні методи дослідження та моніторингу споживання теплової та електричної енергії:

Інструментальні методи

1. Використання теплових лічильників. Забезпечує точне вимірювання кількості теплової енергії, спожитої об'єктом. Теплові лічильники працюють на основі вимірювання температури теплоносія на вході та виході з системи, а також витрати теплоносія.

2. Електrolічильники. Використовуються для моніторингу споживання електроенергії. Сучасні «розумні» лічильники надають дані в режимі реального часу, що дозволяє спостерігати динаміку споживання та аналізувати пікові навантаження.

3. Термографія. Метод візуалізації теплових втрат за допомогою тепловізорів. Використовується для оцінки стану теплоізоляції будівель і виявлення «холодних мостів».

Аналітичні методи

1. Енергетичний аудит. Комплексний аналіз енергоспоживання будівель або систем, включаючи оцінку теплових втрат, ефективності обладнання та потенціалу енергоефективності.

2. Розрахункові моделі. Використання програмного забезпечення (наприклад, EnergyPlus, HOMER) для моделювання споживання теплової та електричної енергії залежно від характеристик будівлі, погодних умов та графіка споживання.

Автоматизовані системи моніторингу (АСМЕ)

1. Диспетчеризація енергоспоживання. Застосування автоматизованих систем управління, які збирають і аналізують дані з різних точок об'єкта (лічильники, датчики температури, тиску, вологості). Такі системи дозволяють оперативно реагувати на неефективне використання енергії.

2. «Розумні» мережі (Smart Grid). Взаємодія будівель і енергосистем із використанням датчиків і засобів комунікації для оптимального управління як споживанням, так і генерацією енергії.

Методи статистичного аналізу

1. Обробка історичних даних. Вивчення даних про споживання енергії за попередні періоди для виявлення трендів і сезонних коливань.

2. Кореляційний аналіз. Визначення зв'язку між споживанням енергії та зовнішніми факторами, такими як температура повітря, час доби, кількість осіб у приміщенні тощо.

Поєднання різних підходів, таких як використання інструментальних методів разом із програмним моделюванням та автоматизованим моніторингом, забезпечує комплексний підхід до оцінки енергоспоживання та визначення шляхів його оптимізації. Таким чином, ці методи дозволяють ефективно виявляти нераціональне використання енергоресурсів, оцінювати

ефективність впроваджених заходів і створювати стратегії для подальшого підвищення енергоефективності.

Для можливості аналізу витрат енергоресурсів на потреби жильців житлового комплексу та подальшої розробки схемних рішень для підвищення ефективності енергоспоживання були визначені основні шляхи для проведення енергомоніторингу системи теплопостачання.

Величина економії теплової енергії залежить від ефективності її використання та від кліматичних умов, які можуть значно впливати на показники економії: за умови більш «холодного» періоду економія буде зменшена, а за умови більш «теплого» періоду – збільшена. Щоб оцінити реальну енергоефективність запропонованих заходів і стан обладнання, необхідно приводити показники теплоспоживання до порівняних умов.

Такою характеристикою клімату за порівняльний період є градусодоба.

Градусодоба – це різниця між регламентованою температурою у приміщенні та середньодобовою температурою зовнішнього повітря за даний період часу. Обчислюється як сума відхилень середньодобової температури від базової по заданий проміжок часу [2].

$$n = (T_{\text{пн}}^p - T_{\text{зп}}^{\text{ср}}) \cdot Z_{\text{діб}},$$

де n – фактична кількість градусодіб;

$T_{\text{пн}}^p$ – нормативна температура повітря у опалювальному приміщенні, $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$;

$T_{\text{зп}}^{\text{ср}}$ – фактична середньодобова температура зовнішнього повітря, $^{\circ}\text{C}$;

$Z_{\text{діб}}$ – кількість діб опалювального періоду, діб.

Для оцінки впровадження заходів з підвищення енергетичної ефективності пропонується використовувати метод приведення фактичного теплоспоживання до нормативного за допомогою градусодіб.

Визначення базового рівня теплоспоживання. Для кожного будинку базовий рівень теплоспоживання встановлюється індивідуально.

Річний базовий рівень теплоспоживання для об'єкта може бути розрахований за формулою:

					КР.144.6241мх.05.02.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		30

$$Q_{\text{річн}} = \frac{Q_{\text{доб}} \cdot D}{\eta_{\text{сист}}}$$

де $Q_{\text{річн}}$ – річний обсяг теплоспоживання, кВт·год;

$Q_{\text{доб}}$ – середньодобова потреба в теплі, кВт·год/доба;

D – кількість опалювальних днів у році (залежить від кліматичних умов регіону) приймається відповідно до ДСТУ-Н Б В.1.1N27:2010;

$\eta_{\text{сист}}$ – загальний коефіцієнт ефективності системи теплопостачання (враховує втрати тепла в мережах і при передачі).

Запропонована методологія оцінки споживання енергетичних ресурсів у системах теплопостачання являє собою методичний інструментарій, що дозволяє комплексно досліджувати процеси енергоспоживання з урахуванням погодозалежного режиму в роботі теплоенергетичних систем. Її принципова перевага полягає в можливості адаптації до різних типів теплозабезпечення, варіативності кліматичних умов та специфіки об'єктів дослідження. Впровадження представленого підходу створює методологічне підґрунтя для підвищення точності прогнозування, оптимізації режимів споживання та розроблення науково обґрунтованих рекомендацій з енергозбереження.

2.2. Методологія обробки та аналізу результатів енергетичного моніторингу.

Для проведення дослідження необхідно створити базу даних, яка включатиме інформацію щодо енергоспоживання за різними видами паливно-енергетичних ресурсів. Енергетичні баланси є важливою частиною аналізу використання паливно-енергетичних ресурсів. Без належно розвиненої системи обліку цих ресурсів неможливо докладно визначити показники, які є ключовими для розробки заходів з удосконалення технологічних процесів та зменшення нераціональних витрат. Однією з необхідних складових побудови

такої системи є точний облік енергоресурсів та чинників, що впливають на рівень енергоспоживання.

Отримання та обробка інформації:

1. Отримання інформації щодо теплоспоживання об'єкта відбувається шляхом зняття даних з вузла обліку теплової енергії (теплічильника).

Для оперативного моніторингу зняття показників може відбуватись щодобово, наприклад, за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення (SCADA) фірми Danfoss «ECL COMFORT 310 PORTAL INTERNATIONAL».

2. Інформацію щодо середньодобової та середньомісячної температури зовнішнього повітря можна отримувати з інформаційних довідок метеорологічної служби (наприклад, з електронного ресурсу "meteomanz.com").

Моніторинг економії енергетичних та фінансових ресурсів.

Основний показник ефективності впровадження заходів з енергозбереження – це економія енергетичних ресурсів за опалювальний період, яка розраховується в енергетичних одиницях (Вт·год) за наступною формулою:

$$\Delta Q = Q_{\text{до}} - Q_{\text{після}}$$

де ΔQ – економія теплової енергії, Вт·год;

$Q_{\text{до}}$ – обсяг споживання теплової енергії до впровадження заходів, Вт·год;

$Q_{\text{після}}$ – обсяг споживання теплової енергії після впровадження заходів, Вт·год.

Економія у грошових одиницях (грн):

$$\Delta C = \Delta Q \cdot T_{\text{ен}}$$

де ΔC – економія коштів, грн;

$T_{\text{ен}}$ – тариф на теплову енергію, грн/Вт·год.

Фінансова економія від впровадження заходів визначається множенням економії теплової енергії на відповідний тариф.

					КР.144.6241мх.05.02.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		32

Для визначення параметрів температури зовнішнього повітря може бути використано інформаційно-електронний ресурс "meteomanz.com" [8]. Сайт містить базу даних гідрометеорологічних умов за даними зареєстрованих метеорологічних станцій. Для отримання необхідних даних слід ввести місце знаходження станції. Для аналізу впливу погодних умов доречно встановити залежність температури зовнішнього повітря (погодозалежний режим роботи системи теплопостачання). За допомогою "meteomanz.com" отримано дані стосовно опалювальних періодів трьох років: з 2021 по 2024 роки (рис. 2.1).

The screenshot shows the Meteomanz.com website. At the top, there is a logo with a sun and clouds and the text "Meteomanz.com". Below the logo, a paragraph states: "Meteomanz.com provides observed meteorological data from worldwide locations obtained from SYNOP and meteorological data based on global models GFS and ECMWF. More info at [how to use](#) and [faq](#)".

Below this is a section titled "Last data quick search". It contains a text input field with the placeholder "Enter a WMO index. Also can be entered a region, country/zone or WMO weather station names ([more info](#))". To the right of the input field are two buttons: "SYNOPS/BUFR" and "GFS/ECMWF".

Below the quick search section is a section titled "SYNOPS/BUFR data detailed search". It contains the instruction "Select a place, dates and output type." followed by several dropdown menus and date pickers:

- "Select Region/country/area:" with a dropdown menu showing "UKRAINE".
- "Station:" with a dropdown menu showing "KHERSON (33902)".
- "Output type:" with a dropdown menu showing "Data by days".
- "Begin date:" with three dropdown menus showing "01", "December", and "2023".
- "End date:" with three dropdown menus showing "31", "December", and "2023".

At the bottom of the detailed search section is a button labeled "GET DATA".

Рис. 2.1. Вхідні дані електронного ресурсу бази даних гідрометеорологічних умов meteomanz.com.

Було отримано метеорологічні дані по днях (кожні три години) протягом опалювального періоду.

Отримані дані метеорологічних параметрів наведені в табличній формі (рис. 2.2).

SYNOB/BUFR observations. Data by days

Station : KHERSON (UKRAINE)
Location : 46 38N, 32 34E, 54 masl.
Date range displayed : 01/12/2023 to 31/12/2023
[New search](#) →

Other KHERSON data : [Summary of month \(December 2023\)](#) | [By months \(2023\)](#) | [By years \(From 2000\)](#) | [GFS/ECMWF forecast](#)

REMARKS:

Hover the mouse over the max/min temperature values to show the refence period. More info regarding max/min temperatures calculation [here](#).
- Precipitaciones from 06 UTC of noted day to 06 UTC of next day. More info regarding precipitation calculation [here](#).

[Excel download](#)

Date ▽	Ave. T. (°C)	Max. T. (°C)	Min. T. (°C)	Prec. (mm)	S.L.Press./ Gheopot.	Wind dir	Wind sp. (Km/h)	Cloud c.	Snow depth (cm)
31/12/2023	4.3	8.8	-0.2	0.0	1019.0 Hpa	248°(W)	7	0/8	-
30/12/2023	0.9	4.0	-2.2	0.1	1017.8 Hpa	235°(SW)	5	0/8	-
29/12/2023	5.5	9.7	1.3	0.0	1018.5 Hpa	233°(SW)	5	6/8	-
28/12/2023	3.0	8.1	-2.0	0.0	1026.1 Hpa	232°(SW)	7	4/8	-
27/12/2023	7.8	11.0	4.7	0.0	1016.6 Hpa	266°(W)	13	4/8	-
26/12/2023	10.7	14.2	7.2	0.0	1011.9 Hpa	251°(W)	9	6/8	-
25/12/2023	3.2	9.2	-2.8	Tr	1005.6 Hpa	231°(SW)	10	7/8	-
24/12/2023	0.7	3.6	-2.3	Tr	1003.8 Hpa	277°(W)	14	4/8	-
23/12/2023	1.9	4.9	-1.2	0.1	993.3 Hpa	278°(W)	9	2/8	-
22/12/2023	3.0	8.4	-2.3	Tr	993.1 Hpa	194°(S)	9	5/8	-
21/12/2023	5.9	9.4	2.4	0.0	1004.3 Hpa	281°(W)	5	6/8	-
20/12/2023	8.1	11.8	4.3	0.0	1014.6 Hpa	186°(S)	11	3/8	-
19/12/2023	5.5	6.4	4.7	0.0	1023.3 Hpa	262°(W)	5	8/8	-
18/12/2023	5.8	7.8	3.8	0.1	1024.6 Hpa	279°(W)	9	8/8	-
17/12/2023	2.5	5.7	-0.6	1.0	1031.3 Hpa	250°(W)	10	8/8	-
16/12/2023	0.2	2.4	-2.0	0.0	1032.9 Hpa	331°(NW)	7	5/8	-
15/12/2023	0.6	1.2	0.0	0.0	1020.9 Hpa	344°(N)	15	7/8	-
14/12/2023	7.6	11.4	3.8	2.0	1009.0 Hpa	151°(SE)	18	8/8	-
13/12/2023	5.2	6.8	3.5	2.0	1014.8 Hpa	140°(SE)	7	8/8	-
12/12/2023	4.1	5.5	2.7	0.1	1013.8 Hpa	152°(SE)	4	8/8	-
11/12/2023	3.2	4.9	1.5	1.0	1018.0 Hpa	109°(E)	7	8/8	-
10/12/2023	1.7	2.6	0.8	1.0	1018.7 Hpa	32°(NE)	6	8/8	-
09/12/2023	1.5	2.2	0.8	0.3	1017.9 Hpa	38°(NE)	17	8/8	-
08/12/2023	1.4	2.4	0.4	11.2	1017.1 Hpa	50°(NE)	17	8/8	-
07/12/2023	0.7	2.3	-1.0	10.0	1019.3 Hpa	52°(NE)	17	8/8	less than 0.5 cm
06/12/2023	-0.8	0.4	-1.9	0.2	1021.1 Hpa	59°(NE)	16	8/8	-
05/12/2023	-1.0	2.4	-4.4	0.0	1026.9 Hpa	143°(SE)	6	4/8	-
04/12/2023	0.3	2.2	-1.5	0.0	1025.0 Hpa	316°(NW)	11	7/8	-
03/12/2023	8.9	13.1	4.7	0.0	1009.9 Hpa	276°(W)	13	7/8	-
02/12/2023	10.0	15.2	4.8	0.0	1005.1 Hpa	170°(S)	5	7/8	-
01/12/2023	7.0	13.6	0.3	Tr	1007.8 Hpa	181°(S)	14	7/8	-

Рис. 2.2. Зовнішній вигляд, отриманих даних для м. Херсон (Україна)
для опалювального періоду.

Для моніторингу показників системи теплопостачання житлового комплексу та визначення витрат газу при експлуатації газових котлів застосована наведене нижче спеціалізоване програмне забезпечення (SCADA) фірми Danfoss «ECL COMFORT 310 PORTAL INTERNATIONAL». Були зібрані дані витрати газу кожні три години протягом трьох опалювальних періодів.

SCADA (аббр. від англ. Supervisory Control And Data Acquisition – диспетчерське управління та збір даних) – програмний пакет, призначений для розробки або забезпечення роботи в реальному часі систем збору, обробки,

відображення та архівування інформації про об'єкт моніторингу або управління.

Система ECL COMFORT 310 PORTAL INTERNATIONAL (рис. 2.3) дозволяє провести реєстрацію всіх наведених параметрів та характеристик обладнання котельної та теплових мереж і індивідуальних теплових пунктів споживачів. Часовий інтервал вимірювання складає кожні три години. Також є можливість відслідковувати в онлайн-режимі всі параметри теплоносія, який подається до споживача відповідно до схеми підключення по кожному об'єкту (будівлі).

Контрольно-вимірювальні пристрої мають можливість підключення до TCP/IP мереж з протоколом MODBUS для передачі даних про показники в систему диспетчеризації.

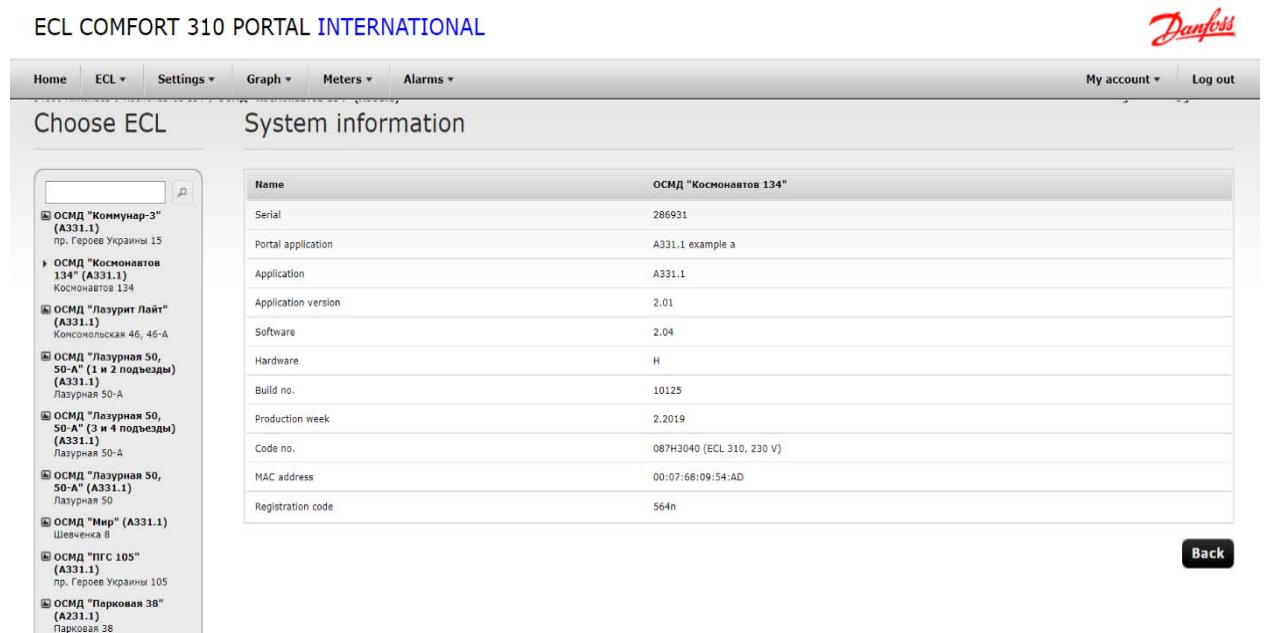


Рис. 2.3. Загальна системна інформація системи Danfoss «ECL COMFORT 310 PORTAL INTERNATIONAL» для моніторингу показників системи теплопостачання жилого комплексу, які обслуговуються котельнею.

Для водогрійних котлів передбачено візуальне відображення параметрів:

- температури води в загальному трубопроводі перед водогрійними котлами і на вході і виході з кожного котла (до запірної арматури);
- тиску води на виході з водогрійного котла;
- температури димових газів за котлом;
- тиску газоподібного палива перед пальниками;
- розрідження в топці;
- розрідження за котлом;
- вмісту кисню у відхідних газах (забезпечено переносним газоаналізатором).

Передбачено реєстрацію та візуальне відображення параметрів:

- температури підживлювальної води;
- температури води в подавальному і зворотному трубопроводах систем теплопостачання;
- температури вихідної води;
- тиску води в подавальному і зворотному трубопроводах систем теплопостачання;
- тиску і температури газу в загальному газопроводі на ввіді в котельню і ГРУ;
- витрати вихідної води;
- витрати води в кожному подавальному трубопроводі системи теплопостачання;
- витрати води в кожному зворотному трубопроводі системи теплопостачання або витрати води на підживлення;
- витрати газу в загальному газопроводі на ввіді в котельню або ГРУ.

2.3. Характеристика об'єкта дослідження та складові установки системи енергозабезпечення.

Об'єктом дослідження є система теплопостачання для житлового комплексу «Світанок», яка обслуговується котельною, розташованою за адресою м. Херсон, вул. Адмірала Макарова, 161. Котельня призначена для опалення житлових будівель. Будівля котельні одноповерхова і має в плані прямокутну форму з розмірами в плані 6,36 х 23,34м. Висота котельні 3,4-3,8 м.

У якості основного теплогенеруючого обладнання застосовані три водогрійних низькотемпературних триходових котла Viessmann VITOROND 200, тепловою потужністю по 350 кВт кожний. Основне та допоміжне обладнання розміщуються в котельному залі. Зальне розташування обладнання котельні наведено на рис. 2.4.

Димові гази від котлів відводяться надземними теплоізованими димоходами з нержавіючої сталі в триствольну димову трубу, яка встановлюється поруч з котельною.

Джерелом газопостачання котельні – існуючий газопровід середнього тиску. Для зниження тиску газу та підтримки його на заданому рівні в котельному залі встановлюється ШРП з однією лінією редукування та байпасом.

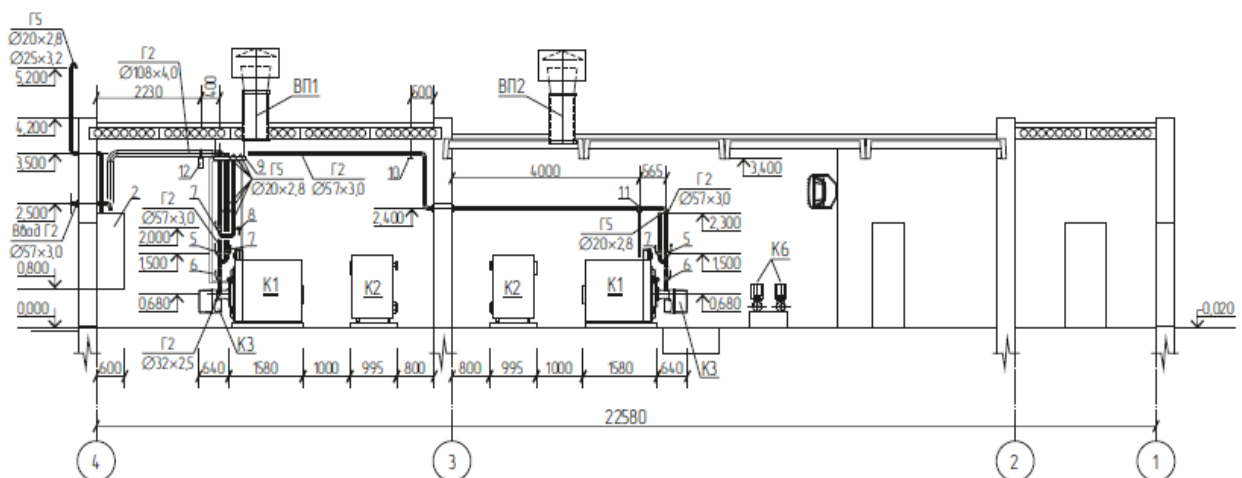


Рис. 2.4. Загальне розташування обладнання котельні базової схеми.

КР.144.6241мх.05.02.ПЗ					Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата	37

Котельня працює в автоматичному режимі без постійної присутності обслуговуючого персоналу.

У котельні встановлено малOSHумне обладнання – рівень звукового тиску не перевищує 40 дБА.

В якості палива в котлах використовується природний газ.

Тепломеханічне обладнання.

У якості основного теплогенеруючого обладнання застосовані три водогрійних низькотемпературних триходових котла Viessmann VITOROND 200 (рис. 2.5), тепловою потужністю по 350 кВт кожний, з газовими модульованими пальниками Elco VG4.460 DUO PLUS KN [38]. З встановлених котлів два – робочі, третій – резервний.



Рис. 2.5. Водогрійний низькотемпературний триходовий котел Viessmann VITOROND 200.

Низькотемпературний водогрійний котел для роботи на рідкому або газоподібному паливі VITOROND 200. Триходовий котел литої секційної конструкції. Можливість роботи зі змінною температурою теплоносія. Теплоносій нагрівається в котлі за допомогою пальника до заданої у контролері температури. Контролер керує потужністю пальника. Мінімальна

					КР.144.6241мх.05.02.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		38

температура обмежується в кодуєчий штекер, який поставляється разом з казаном. Максимальна температура обмежена настройками аварійного та робочого термостата і дорівнює макс. 110 С. Vitotronic постійно контролює температуру води на вході котел і постійно підтримує її вище мінімального допустимого значення.

Для підвищення ефективності котли комплектуються конденсаційними економайзерами Viessmann VITOTRANS 300, тепловою потужністю по 30,3 кВт кожний. Температура димових газів після економайзера 65 °С.

Димові гази від котлів та економайзерів відводяться надземними теплоізованими димоходами з нержавіючої сталі в триствольну димову трубу, висотою 18,4 м. В радіусі 25 м від димової труби розташовані одно- та двоповерхові будинки. Конденсат, який утворюється в димоходах та економайзерах зливається та нейтралізується у двох нейтралізаторах конденсату. Після нейтралізації конденсат зливається у систему каналізації котельні.

Циркуляцію теплоносія через котли здійснюють циркуляційні насоси котлового контуру з електронним частотним керуванням Wilo Stratos GIGA 50/1-14/0,8. Для запобігання зниження температури теплоносія в зворотному трубопроводі котла нижче 55 °С для кожного котла передбачена рециркуляційна лінія з триходовим клапаном з електроприводом.

Облік виробленої теплової енергії кожним котлом здійснюється одноканальним лічильником теплової енергії.

Подачу теплоносія в систему теплопостачання здійснюють два (робочий і резервний) мережевих насоса з електронним частотним керуванням Wilo Stratos GIGA 50/1-38/2,8.

Теплоносій з котельні подається по існуючими двотрубним тепловим мережам. Регулювання параметрів теплоносія - якісне, в залежності від температури зовнішнього повітря, здійснюється автоматично за допомогою триходового клапана з електроприводом, яким керує електронний контролер.

					КР.144.6241мх.05.02.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		39

Облік теплової енергії, яка відпускається користувачам, здійснюється двоканалним лічильником теплової енергії.

Температура теплоносія в котловому контурі $T_{1.1}=95\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{2.1}=70\text{ }^{\circ}\text{C}$; в мережевому $T_{1.2}=90\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{2.2}=65\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Система теплопостачання замкнута. Для компенсації теплового розширення води в системі, в котловому контурі встановлюється розширювальний бак.

2.4. Висновки по розділу 2.

1) Представлені основні положення методології проведення дослідження, обробки та аналізу результатів енергетичного моніторингу, яка базується на принципах репрезентативності, системності та неперервності спостереження. Розроблений методичний інструментарій включає статистичні, графоаналітичні та математичні методи ідентифікації закономірностей енергоспоживання, що дозволяє здійснювати багатовимірний аналіз та прогнозування теплоенергетичних режимів.

2) Характеристика об'єкта дослідження та складових установки системи енергозабезпечення виявила необхідність комплексного підходу до вибору та інтеграції технологічних рішень. Встановлено, що ефективність системи енергозабезпечення залежить від взаємоузгодженості технічних параметрів, кліматичних умов та режимів експлуатації.

3) Запропоновані теоретико-методичні підходи створюють наукове підґрунтя для розроблення інноваційних рішень у сфері енергозабезпечення, дозволяють підвищити точність прогнозування щодо модернізації систем теплопостачання.

					КР.144.6241мх.05.02.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		40

					КР.144.6241мх.05.03.ПЗ						
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							
					Розрахунковий розділ				Літ.	Арк.	Аркушів
Студент	Ненашева А.І.										
Керівник	Кобалава Г.О.										
Консульт.									НУК		
											41

3. РОЗРАХУНКОВИЙ РОЗДІЛ

3.1. Аналіз кліматичних даних та їх впливу на режими теплоспоживання.

Кліматичні параметри виступають визначальним фактором формування режимів теплоспоживання в системах опалення, детермінуючи як загальну потребу в тепловій енергії, так і особливості її розподілу протягом опалювального періоду. Комплексне дослідження метеорологічних характеристик передбачає системний аналіз температурних режимів, вологості, швидкості вітру та інших параметрів зовнішнього середовища, які безпосередньо впливають на інтенсивність тепловтрат та ефективність роботи опалювальних систем. Науково обґрунтована оцінка кліматичних даних дозволяє не лише прогнозувати енергетичні потреби, але й розробляти адаптивні стратегії управління теплоспоживанням, спрямовані на підвищення енергоефективності та мінімізацію експлуатаційних витрат.

Метеорологічні дані (температура зовнішнього повітря) отримано за допомогою програми `meteomanz.com`. Для адекватної оцінки енергозберігаючих рішень згідно до вимог системи енергетичного менеджменту необхідно аналізувати ефективність відносно не менш як трьох років. Зміна температур зовнішнього повітря протягом останніх 2021-2022, 2022-2023, 2023-2024 опалювальних періодів з інтервалом три години наведено на рис. 3.1–3.3. Можна зробити висновок, що температура в середньому достатньо помірна, хоча розрахункова температура для даного регіону складає – 19 °С. Саме цей фактор дозволяє запропонувати застосування розробленого технічного рішення використання газового котла в комбінації з тепловим насосом.

					КР.144.6241мх.05.03.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		42



Рис. 3.1. Зміни температури зовнішнього повітря протягом 2021-2022 опалювального періоду.



Рис. 3.2. Зміни температури зовнішнього повітря протягом 2022-2023 опалювального періоду.

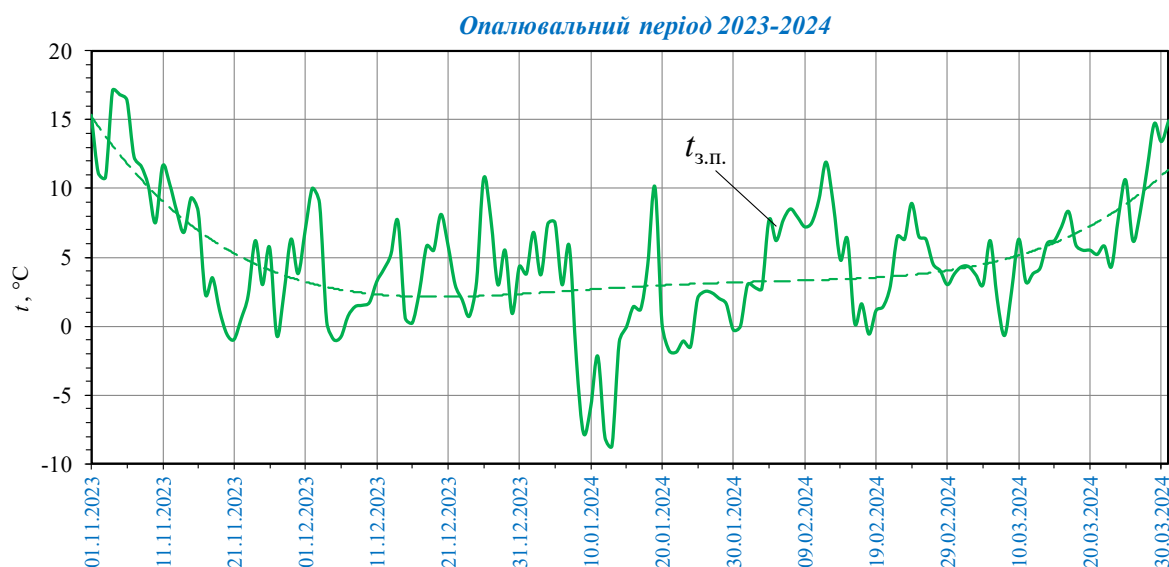


Рис. 3.3. Зміни температури зовнішнього повітря протягом 2023-2024 опалювального періоду.

Температурні характеристики опалювальних періодів.

2021-2022 роки: середня температура $+3^{\circ}\text{C}$.

2022-2023 роки: середня температура $+3^{\circ}\text{C}$.

2023-2024 роки: середня температура $+5^{\circ}\text{C}$.

3.2. Діагностика теплоенергетичного потенціалу системи тепlopостачання.

Діагностика теплоенергетичного потенціалу є ключовим етапом комплексного дослідження ефективності систем тепlopостачання, що передбачає всебічну оцінку технічних, економічних та експлуатаційних характеристик теплогенеруючого обладнання та інженерної інфраструктури. Комплексний підхід до оцінки теплоенергетичного потенціалу дозволяє не лише ідентифікувати поточний стан системи тепlopостачання, але й розробити науково обґрунтовані рекомендації щодо її модернізації,

оптимізації режимів експлуатації та впровадження інноваційних технологічних рішень.

З метою визначення ефективних заходів щодо енергозбереження для системи теплопостачання житлового комплексу було проведено аналіз ефективності споживання енергетичних ресурсів котельною, яка живить теплом будівлі. На основі цього аналізу можуть бути запропоновані шляхи вдосконалення системи теплопостачання із врахуванням впливу зміни температури зовнішнього повітря.

Дані щодо витрати природного газу, електричної енергії та води наведені в табл. 3.1.

Табл. 3.1. Споживання енергоресурсів та води ОСББ «Світанок».

Період	ОСББ "Світанок"		
	Природний газ	Електрична енергія	Вода
	тис.м ³	кВт*год	м ³
<i>Опалювальний період 2021-2022 р.р.</i>			
Жовтень 2021	7,50	2095,75	9,00
Листопад 2021	20,86	2328,98	9,00
Грудень 2021	30,41	2573,00	10,00
Січень 2022	31,79	2691,69	9,00
Лютий 2022	26,58	2573,83	8,00
Березень 2022	22,85	2361,35	11,00
Всього:	139,99	14624,60	56,00
<i>Опалювальний період 2022-2023 р.р.</i>			
Жовтень 2022	6,90	1663,32	7,00
Листопад 2022	19,69	1928,92	10,00
Грудень 2022	18,88	4521,01	11,00
Січень 2023	23,46	2382,93	15,00
Лютий 2023	19,18	2482,53	10,00
Березень 2023	15,57	1957,14	13,00
Всього:	103,68	14935,85	66,00
<i>Опалювальний період 2023-2024 р.р.</i>			
Жовтень 2023	7,80	1779,52	8,00
Листопад 2023	13,67	2935,71	9,00
Грудень 2023	23,17	2888,40	10,00
Січень 2024	24,12	2553,08	11,00
Лютий 2024	23,57	2584,62	10,00
Березень 2024	20,06	1774,54	12,00
Всього:	112,38	14515,87	60,00

Аналіз споживання природного газу виявляє чітку сезонну залежність. Найвище споживання газу традиційно припадає на січень місяць, де середнє збільшення становить 8% (до 2,5 тис. м³), незалежно від конкретного опалювального сезону (рис. 3.4). Найнижчі показники споживання газу реєструються у жовтні, в середньому близько 7,5 тис. м³. Такий розподіл обумовлений насамперед кліматичними особливостями та динамікою зовнішніх температур впродовж опалювального періоду. Варто зазначити позитивну тенденцію зниження газоспоживання в останні роки. Основною причиною цього стає перехід споживачів до ручного регулювання температури теплоносія залежно від часу доби. Внаслідок цього сумарне споживання газу за опалювальний сезон скоротилося до приблизно 100 тис. м³.

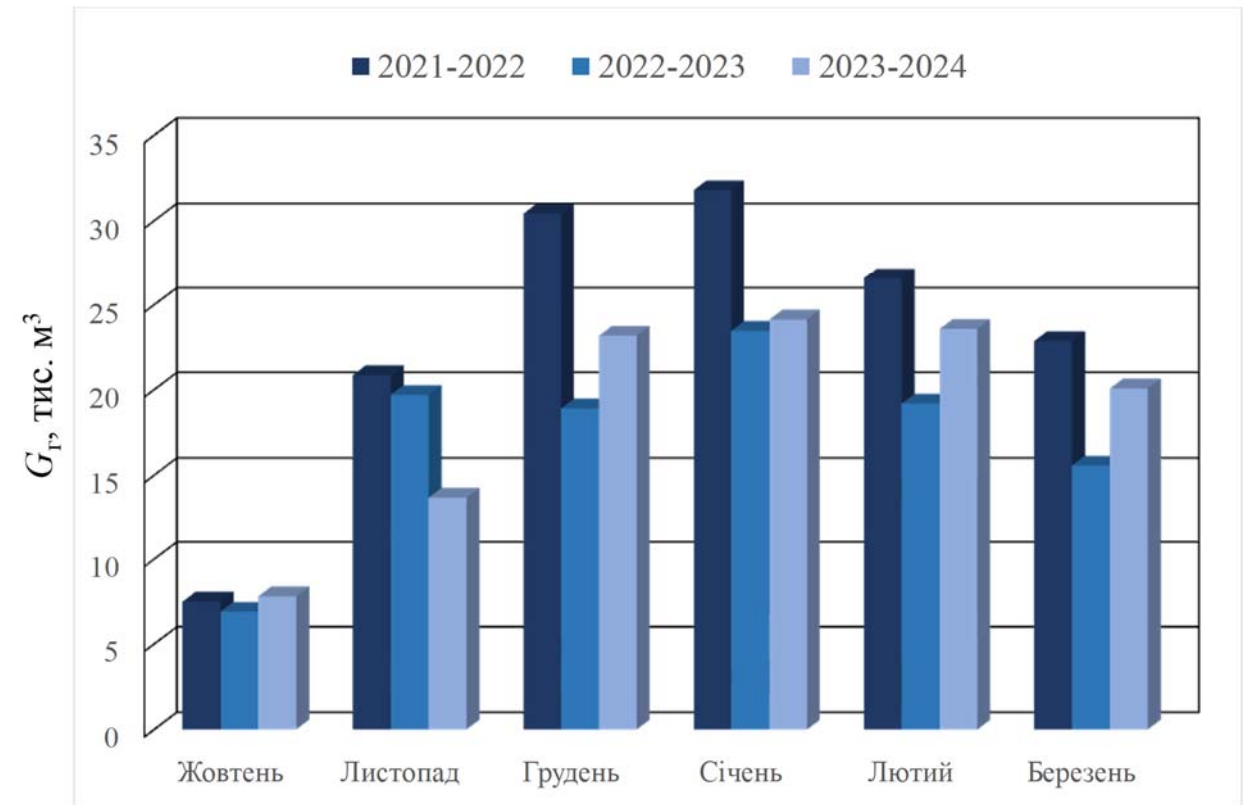


Рис. 3.4. Споживання природного газу котельною протягом опалювального періоду по місяцях.

Аналіз електроспоживання допоміжного обладнання котельні демонструє стабільну динаміку в діапазоні 2000–3000 кВт·год незалежно від

опалювального сезону (рис. 3.5). Особливістю звітної періоду стало суттєве зростання електроспоживання в грудні 2022 року, спричинене проведенням ремонтних робіт у котельній. Збільшення електроспоживання в цей період склало 35% (1,5 тис. кВт·год). Найнижчі показники електроспоживання традиційно припадають на жовтень та березень – 1,5–2,0 тис. кВт·год. Така закономірність пов'язана передусім з температурними коливаннями зовнішнього середовища впродовж опалювального періоду. Важливо зазначити, що сумарне споживання електричної енергії за роки дослідження (2021-2024) залишається практично незмінним і становить 14-15 тис. кВт·год.

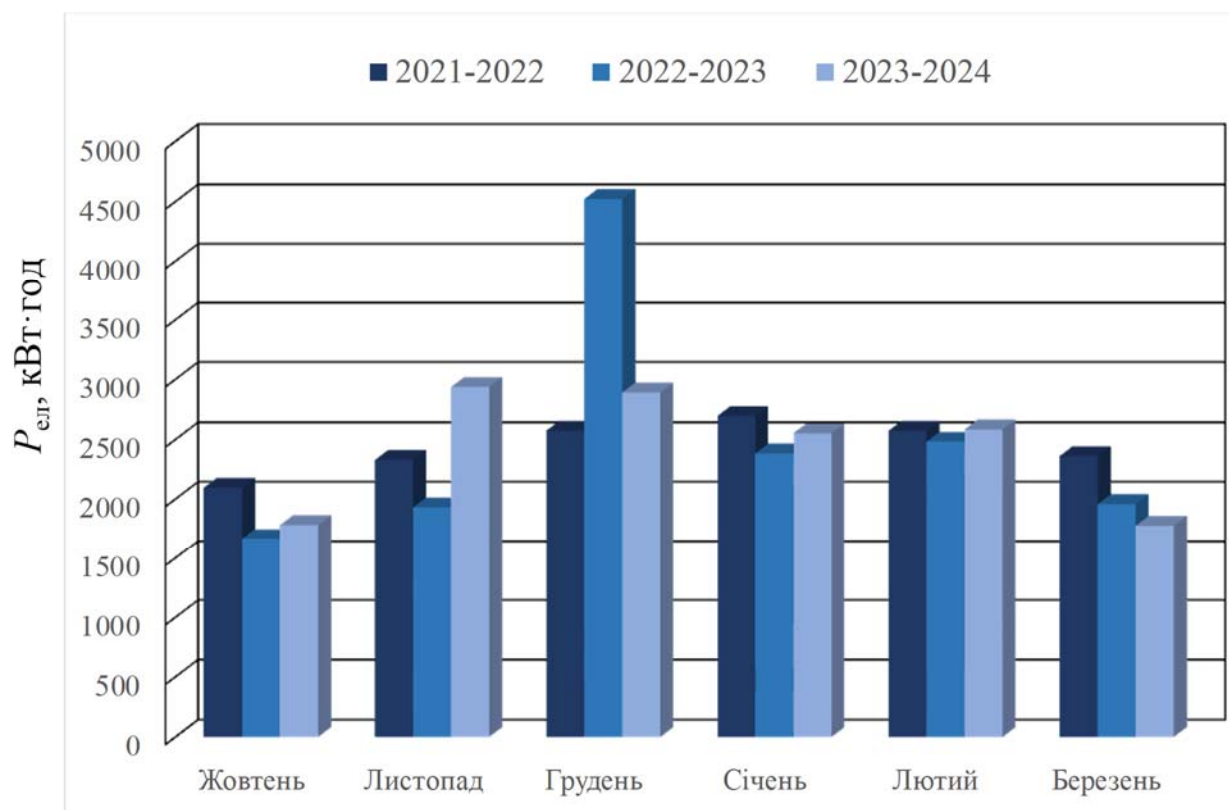


Рис. 3.6. Споживання електричної енергії котельною протягом опалювального періоду по місяцях.

Аналіз водоспоживання в системі теплопостачання показує відносну стабільність із коливаннями в межах 8–12 м³ незалежно від опалювального сезону. Значною подією став помірний приріст водоспоживання в січні 2022

року, спричинений аварійним проривом на тепловій магістралі та подальшими відновлювальними роботами. Унаслідок цього збільшення споживання води в мережі склало 25% (до 4 м³). Показовою є однорідність сумарного водоспоживання впродовж досліджуваних років (2021-2024), що опосередковано свідчить про належний технічний стан обладнання та магістральних комунікацій теплопостачальної системи.

За підсумками опалювального періоду сумарні витрати води становлять 55–65 м³, що підтверджує стабільність роботи системи теплопостачання.

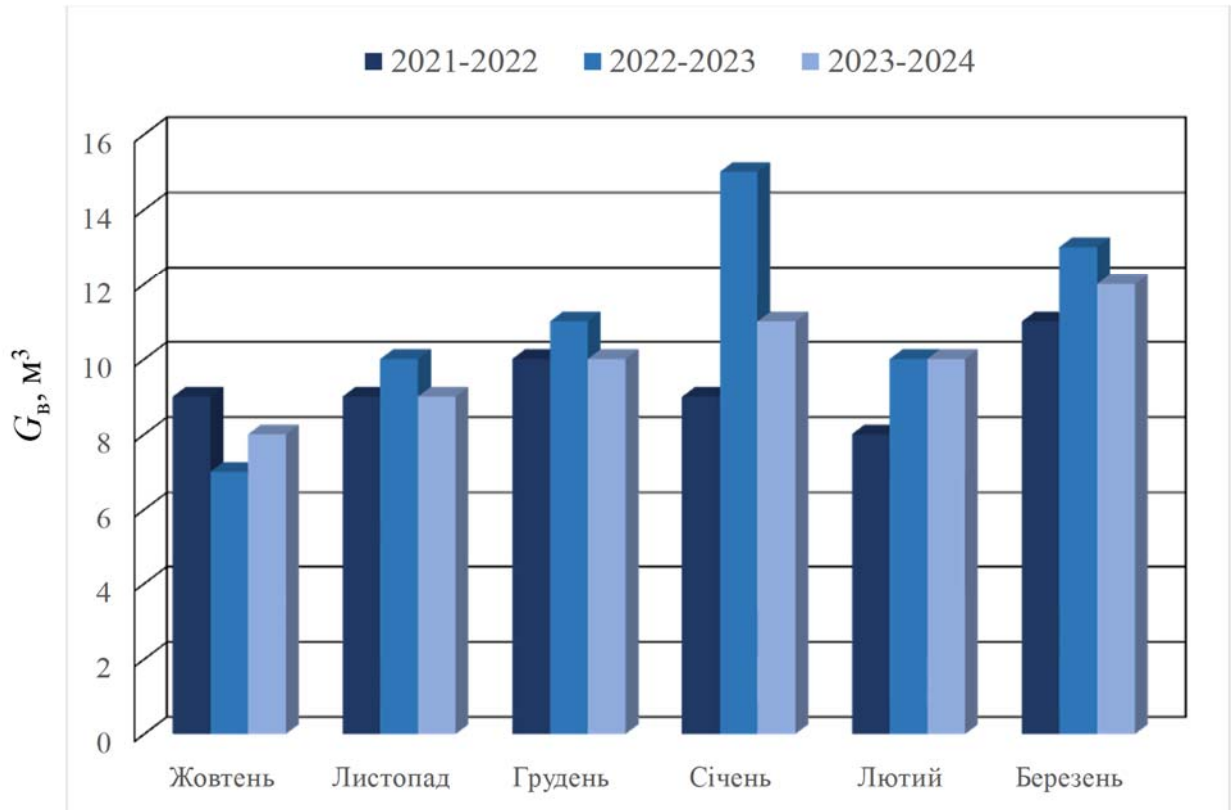


Рис. 3.6. Споживання води котельною протягом опалювального періоду по місяцях.

На сьогоднішній день в жорстоких умовах воєнного часу вкрай необхідно пропонувати та розвивати ідеї щодо збереження енергоресурсів та впровадження альтернативних схемних рішень для опалення будівель. Також важливим фактором є врахування періодичних відключень електроенергії та припинення постачання природного газу у зв’язку із обстрілами.

Відомо, що рівень споживання енергетичних ресурсів протягом року змінюється відповідно до зміни зовнішньої температури, таким чином резервом до підвищення енергетичної ефективності котельної є розробка схемного рішення застосування газових котлів у комбінації з тепловим насосом, з урахуванням погодозалежного режиму протягом опалювального режиму.

3.3. Розробка напрямків підвищення енергоефективності теплозабезпечення.

Підвищення енергоефективності теплозабезпечення є комплексним системним завданням, що вимагає інтеграції технічних, технологічних та організаційних інновацій для досягнення максимальної раціональності використання енергетичних ресурсів. Сучасні виклики в галузі енергозбереження обумовлюють необхідність розроблення багатовекторних стратегій модернізації систем теплопостачання, спрямованих на зниження технологічних втрат, оптимізацію режимів споживання та впровадження альтернативних джерел енергії. Принципово важливим є формування науково обґрунтованого підходу, який би враховував технічні можливості, економічну доцільність, екологічні обмеження та потенціал наявної інженерної інфраструктури при проєктуванні заходів з підвищення енергетичної ефективності теплозабезпечення.

Заходи з енергозбереження для котельні житлового комплексу включають широкий спектр технічних, організаційних та технологічних рішень.

Технічна модернізація передбачає оновлення котельного обладнання шляхом встановлення сучасних високоефективних котлів з використанням конденсаційних теплообмінників та частотних перетворювачів на насосному обладнанні. Важливим технічним аспектом є застосування теплоізоляційних

					КР.144.6241мх.05.03.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		49

матеріалів нового покоління та впровадження автоматизованих систем контролю процесів горіння палива.

Інструментальні заходи спрямовані на проведення детального енергетичного аудиту з використанням сучасних приладів обліку теплової енергії, багатоканальних реєстраторів параметрів та датчиків температури і тиску. Такий підхід дозволяє отримати максимально точну інформацію про реальні процеси енергоспоживання.

Режимно-технологічні рішення включають оптимізацію гідравлічних режимів теплових мереж, впровадження погодозалежного регулювання, зниження температури зворотної лінії та мінімізацію підживлення теплоносія. Особливу увагу приділяють хімічній підготовці води та процесам дегазації.

Альтернативні технології передбачають часткову або повну інтеграцію нетрадиційних джерел енергії, зокрема теплових насосів, сонячних колекторів, когенераційних установок та обладнання для використання біопалива. Такі рішення дозволяють суттєво знизити залежність від традиційних енергоносіїв.

Цифрові технології забезпечують впровадження SCADA-систем, використання штучного інтелекту для прогнозування режимів роботи, створення централізованих диспетчерських пунктів та систем віддаленого моніторингу. Ці рішення підвищують керованість та прогнозованість теплоенергетичних процесів.

Організаційні заходи включають навчання персоналу, розроблення методичних інструкцій з енергозбереження, впровадження системи енергетичного менеджменту та механізмів матеріального стимулювання співробітників за досягнення показників економії.

Економічний супровід передбачає впровадження систем енергетичного контролінгу, розрахунок питомих витрат, застосування методів бенчмаркінгу, страхування енергетичних ризиків та залучення механізмів державно-приватного партнерства для реалізації масштабних проєктів модернізації.

					КР.144.6241мх.05.03.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		50

Ключовою умовою ефективності всіх перерахованих заходів є їх комплексне впровадження з обов'язковим попереднім техніко-економічним обґрунтуванням та врахуванням специфіки конкретного об'єкта.

Серед заходів з енергозбереження для котельні житлового комплексу було обрано варіант модернізації із впровадженням теплових насосів. Це рішення базується на аналізі технічних, економічних та екологічних переваг такого підходу. Використання теплових насосів дозволяє значно знизити споживання традиційних енергоресурсів, таких як природний газ, шляхом залучення низькопотенціального тепла з навколишнього середовища.

Розроблені технічні схеми системи теплопостачання забезпечують підвищення ефективності роботи котельні, адаптивність до змін кліматичних умов та зменшення витрат на опалення для мешканців. Додатковою перевагою є зниження викидів шкідливих речовин в атмосферу, що сприяє покращенню екологічної ситуації в регіоні.

Отже, впровадження теплових насосів є оптимальним рішенням для підвищення енергоефективності котельні житлового комплексу, що забезпечує довгострокову економію ресурсів, покращення комфорту для користувачів та сталий розвиток системи теплопостачання.

3.4. Висновки по розділу 3.

1) Аналіз кліматичних даних показав, що режими теплоспоживання безпосередньо залежать від зовнішньої температури, тривалості опалювального періоду та сезонних коливань. Встановлено, що найбільші теплові навантаження припадають на зимові місяці, тоді як у перехідні сезони спостерігається значне зниження потреби в теплі. Це вимагає гнучкості в роботі систем теплопостачання, зокрема можливості адаптації до змін погодних умов у реальному часі.

2) Діагностика теплоенергетичного потенціалу виявила основні недоліки існуючої системи теплопостачання, зокрема високі теплові втрати в

					КР.144.6241мх.05.03.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		51

мережах, недостатню ефективність окремих елементів системи та невідповідність режимів роботи потребам споживачів.

3) На основі проведених досліджень запропоновано низку заходів для підвищення енергоефективності системи теплозабезпечення. Основний акцент зроблено на модернізації теплогенеруючого обладнання із застосуванням теплових насосів. На прикладі житлового комплексу «Світанок» встановлено залежності рівня енергоспоживання (природного газу, електроенергії та котлової води) від коливань температури навколишнього середовища, що обґрунтувало розробку схеми застосування газових котлів у поєднанні з тепловим насосом з урахуванням погодозалежного режиму в опалювальний період.

					КР.144.6241мх.05.03.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		52

					КР.144.6241мх.05.04.ПЗ					
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						
					Дослідницький розділ			Літ.	Арк.	Аркушів
Студент		Ненашева А.І.								
Керівник		Кобалава Г.О.								
Консульт.								НУК		
								53		

4. ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ

4.1. Розробка технічних схем системи теплопостачання з використанням теплових насосів.

З метою аналізу ефективності застосування опалення житлового комплексу було проаналізовано дві схеми систем опалення. В якості базової взята існуюча схема в погодозалежному режимі із трьома водогрійними низькотемпературними триходовими котлами фірми Viessmann VITOROND 200, тепловою потужністю по 350 кВт кожний. З встановлених котлів два – робочі, третій – резервний.

В розробленій схемі запропоновано використання газових котлів сумісно з застосуванням теплових насосів марки MITSUBISHI ELECTRIC AW-HT (Y) 0152. Відповідно до теплового навантаження проєктом передбачено розміщення чотирьох теплових насосів теплопродуктивністю 51 кВт кожний. При цьому робота теплових насосів відбувається в погодозалежному режимі (в залежності від температури зовнішнього повітря), газові котли включаються при пікових навантаженнях на систему опалення при температурах зовнішнього повітря нижче 4 °С. Це пов'язано насамперед з тим, що коефіцієнт COP (COP – coefficient of performance) для теплових насосів при низьких температурах зовнішнього повітря істотно зменшується і застосування насосу стає нерентабельним.

Тепловий насос марки MITSUBISHI ELECTRIC AW-HT (Y) 0152.

Високотемпературні теплові насоси ідеально підходять для реконструкції будівель, де необхідно замінити газові або рідкопаливні котли центрального опалення, проте необхідно зберегти існуючу систему розподілу гарячої води на основі радіаторів і, в той же час, забезпечити гарячу воду. Ця ситуація типова для централізованих житлових систем, таких як багатоквартирні будинки, де вартість реконструкції має бути обмежена за рахунок збереження тієї ж системи розподілу, водночас із можливістю

Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата

КР.144.6241мх.05.04.ПЗ

Лист

54

застосування джерел відновлюваної енергії, таких, як наприклад, теплові насоси.

Для установок середньої та високої потужності потужність системи може бути збільшена до 400 кВт за рахунок модульної конфігурації (рис. 4.1).

Цей тип установки дозволяє диференційовано керувати виробництвом води для побутових потреб, щоб оптимізувати використання енергетичних ресурсів без відходів, а також диференціювати теплопродуктивність від холодопродуктивності.

Тепловий насос марки MITSUBISHI ELECTRIC AW-HT (Y) 0152 (рис. 4.2), з тепловою потужністю 51 кВт, призначений для зовнішньої установки, що виробляє гарячу воду з температурою до 65°C для центрального опалення та побутових потреб, з пароінжекційними герметичними спіральними компресорами EVI, що працюють на R407C, осьовими вентиляторами, пластинчастим паяним теплообмінником та термостатичним розширювальним клапаном. Зовнішня обшивка виготовлена з Peraluman на основі з оцинкованої сталі з покриттям. Робоча межа у літньому режимі: +40°C у зимовому режимі: -20°C.

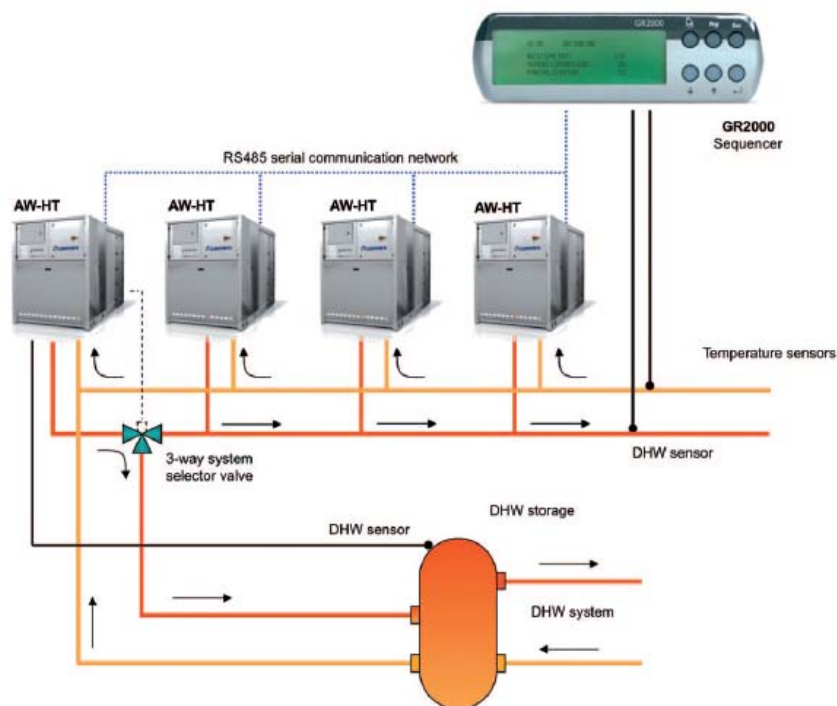


Рис. 4.1. Схема з модульною конфігурацією установки теплових насосів.



Рис. 4.2. Зовнішній вигляд теплового насосу марки MITSUBISHI ELECTRIC AW-HT (Y) 0152.

Основні характеристики теплового насосу:

- Теплопродуктивність: 51,3 кВт;
- Загальна споживана потужність: 14,4 кВт;
- COP: 3,56;
- Витрата води теплообмінника: 8,91 м³/год;
- Тип холодоагенту: R407C.

Таким чином, проведено аналіз для двох схемних рішень системи опалення:

- 1) застосування тільки газового котла в погодозалежному режимі регулювання теплоти;
- 2) сумісне застосування газового котла та теплового насосу в погодозалежному режимі, газовий котел включається при температурах зовнішнього повітря нижче $t_{зп} = 4\text{ }^{\circ}\text{C}$ і компенсує дефіцит по теплоті.

Розроблено креслення загального розташування обладнання в котельні для розробленої схеми використання газового котла в комбінації з тепловим насосом (рис. 4.3).

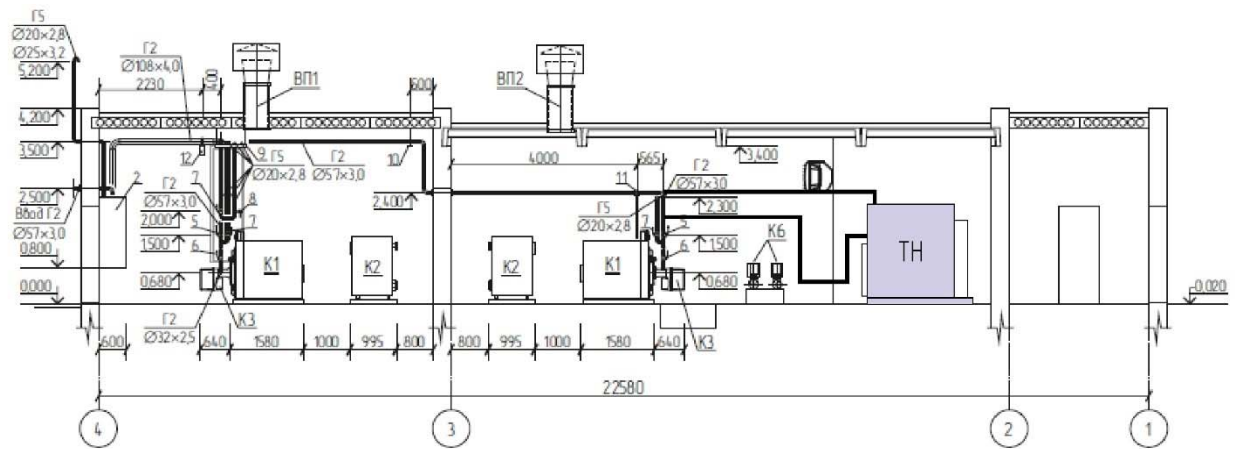


Рис. 4.3. Загальне розташування обладнання котельні для схеми з тепловим насосом.

З метою розрахунку характеристик теплового насосу MITSUBISHI ELECTRIC AW-HT (Y) 0152 було проаналізовано отримані експериментальні дані, які було надано виробником. Аналіз експериментальних даних показав, що коефіцієнт ефективності теплового насосу (COP) зменшуються з зменшенням зовнішньої температури та збільшуються із зменшенням температури теплоносія (води системи опалення), і складають $COP = 2,8\text{--}4,2$ при температурі зовнішнього повітря $t_{\text{зп}} = 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ (температурі теплоносія $t_{\text{w1}} = 35\text{ }^{\circ}\text{C}$; $45\text{ }^{\circ}\text{C}$; $55\text{ }^{\circ}\text{C}$) та відповідно при $t_{\text{зп}} = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ – $COP = 2,2\text{--}3,6$.

Проведений регресійний аналіз дозволяє визначити методами апроксимації емпіричні залежності для розрахунку коефіцієнта ефективності теплового насосу COP в залежності від значень початкової температури теплоносія на вході та температури зовнішнього повітря (рис. 4.4).

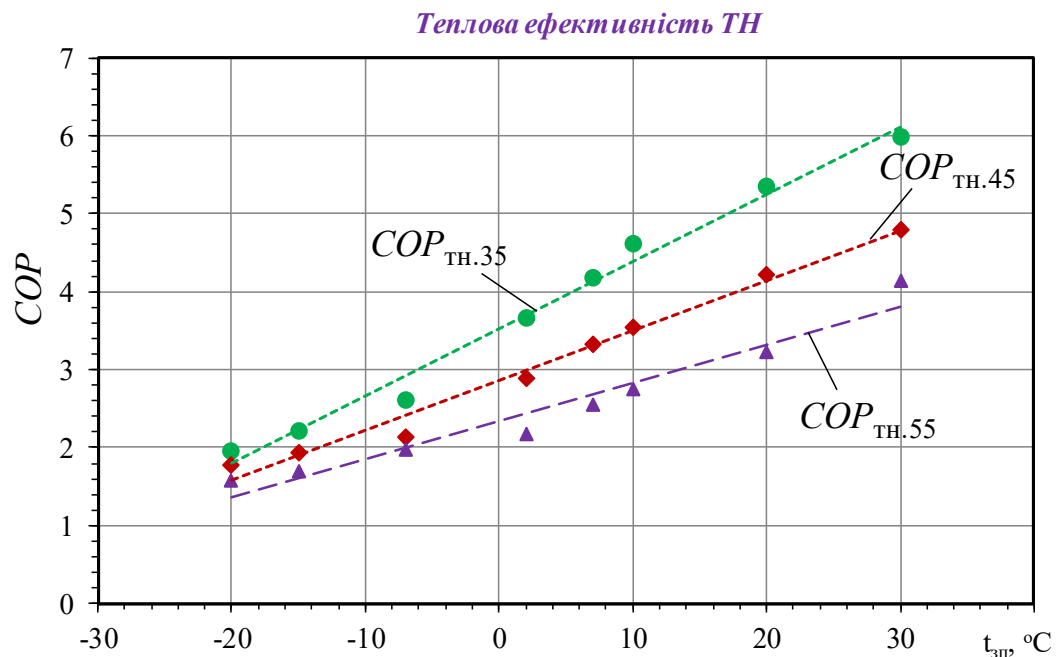


Рис. 4.4. Експериментальні значення коефіцієнта ефективності теплового насосу COP_{TH} в залежності від температури зовнішнього повітря $t_{зп}$ при різних температурах теплоносія t_{w1} .

Коефіцієнт COP при $t_{w1} = 35\text{ }^\circ\text{C}$:

$$COP = 0,0862 \cdot t_{зп} + 3,5216 \quad (R^2 = 0,9873).$$

Коефіцієнт COP при $t_{w1} = 45\text{ }^\circ\text{C}$:

$$COP = 0,0638 \cdot t_{зп} + 2,8558 \quad (R^2 = 0,9841).$$

Коефіцієнт COP при $t_{w1} = 55\text{ }^\circ\text{C}$:

$$COP = 0,0488 \cdot t_{зп} + 2,3414 \quad (R^2 = 0,9474).$$

4.2. Моделювання теплоенергетичних режимів системи тепlopостачання в умовах змінних кліматичних параметрів.

При моделюванні характеристик опалювальної системи ми встановили наступні вхідні параметри для аналізу теплових режимів та енергоспоживання:

По-перше, максимальне теплове навантаження газового котла визначається критичною температурою зовнішнього середовища мінус 19°C.

По-друге, для системи опалення з комбінованим використанням котла та теплового насосу передбачено, що насос включається за температури 4°C, забезпечуючи 10% від номінального навантаження.

Розрахунки проводяться для опалювального сезону, який охоплює період з листопада по березень, з інтервалом вимірювань кожні три години.

Базовою розрахунковою схемою для порівняння різних варіантів опалювальної системи обрано традиційну схему з газовим котлом. Додатково розглядаються варіанти початкової температури теплоносія на вході в систему: 35°C, 45°C та 55°C.

Опалювальний період протягом 2021-2022 років.

Аналізуючи обидва варіанти схемних рішень системи теплопостачання для опалювального періоду 2021-2022 років, було зроблено наступні висновки. При роботі системи теплопостачання тільки з газовим котлом питома витрата природного газу протягом опалювального періоду складає в середньому $G_{г.баз} = 30$ кг/год (рис. 4.5). При застосуванні в схемі теплового насосу в комбінації з котлом питома витрата палива значно зменшується і складає в середньому до $G_{г(+ТН)} = 18$ кг/год. Як видно з графіку, мають місце дні протягом періоду, коли котел повністю виключений. Тобто витрату газу відсутні взагалі та фіксується лише споживання електричної енергії.

					КР.144.6241мх.05.04.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		59



Рис. 4.5. Залежності питомої витрати природного газу для базової схеми із газовим котлом $G_{T, \text{баз}}$ та витрати природного газу для комбінованої схеми із тепловим насосом $G_{T(+TH)}$.

При аналізі споживання природного газу для базової схеми із газовим котлом та для комбінованої схеми із тепловим насосом по місяцях (рис. 4.6) визначено, що в листопаді та березні споживання газу скорочується більше, ніж у два рази. Це, у свою чергу, говорить про помірно теплу погоду на півдні України.

У свою чергу, сумарна витрата природного газу за весь період складає для системи теплопостачання, що обслуговується лише газовими котлами – $\Sigma V_{T, \text{баз}} = 107$ тис. м^3 та для комбінованої схеми (з тепловим насосом) – $\Sigma V_{T(+TH)} = 65$ тис. м^3 , таким чином, скорочення витрати палива складає 42,0 тис. м^3 в порівнянні із базовим варіантом.

Дослідження впливу початкової температури теплоносія на коефіцієнт перетворення (COP) виявило цікаві закономірності. За різних температурних режимів значення COP змінюються наступним чином:

- При температурі 35°C коефіцієнт перетворення коливається в межах 2,45–5,42.
- За температури 45°C діапазон звужується до 2,1–4,3.
- При 55°C показник COP зменшується до 1,74–3,42.

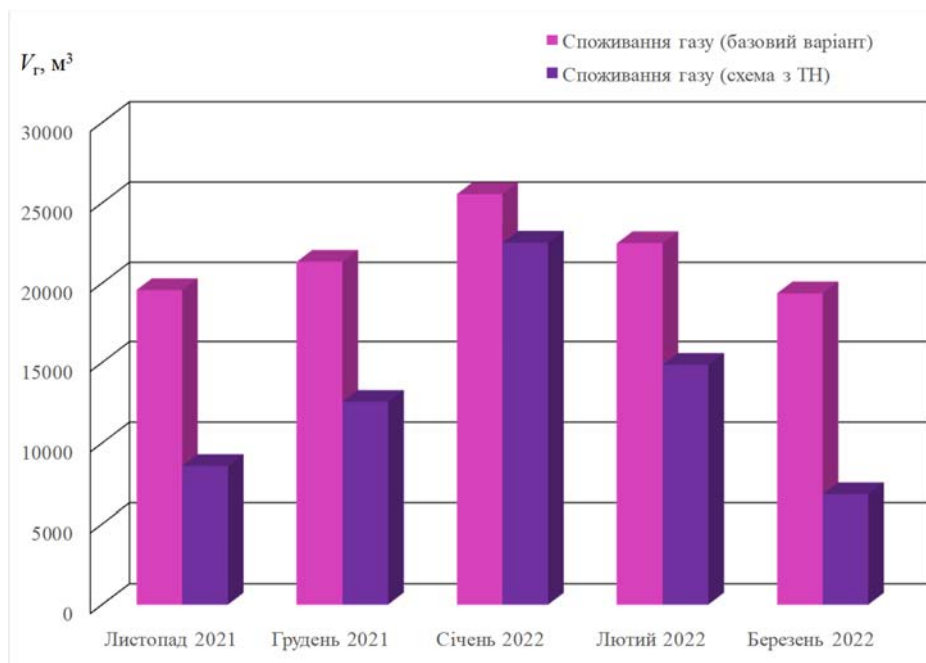


Рис. 4.6. Споживання природного газу для базової схеми із газовим котлом та для комбінованої схеми із тепловим насосом по місяцях.

Такі варіації пояснюються фізичними особливостями теплового насосу. Підвищення температури теплоносія викликає необхідність збільшення температури конденсації в конденсаторі, що спричиняє додаткове навантаження на компресор і, як наслідок, зменшення ефективності роботи.

Графік теплового навантаження для початкової температури теплоносія 45°C демонструє, що теплові насоси забезпечують потужність у межах 55–116 кВт, при цьому електричне навантаження на компресори становить 12–37 кВт (рис. 4.7).

У комбінованій схемі з тепловим насосом споживання електричної енергії варіюється залежно від зовнішньої температури, досягаючи максимального значення 11300 кВт. Цікавою особливістю є те, що найвищі показники електроспоживання реєструються практично в усі зимові місяці, за винятком січня.

Причиною такої динаміки є відносно м'яка зимова погода, коли температура повітря не опускається нижче 4°C. За таких умов тепловий насос функціонує безперервно, що й зумовлює підвищене споживання електроенергії.

Дана закономірність підкреслює вплив кліматичних умов на ефективність та енергоспоживання комбінованих опалювальних систем.

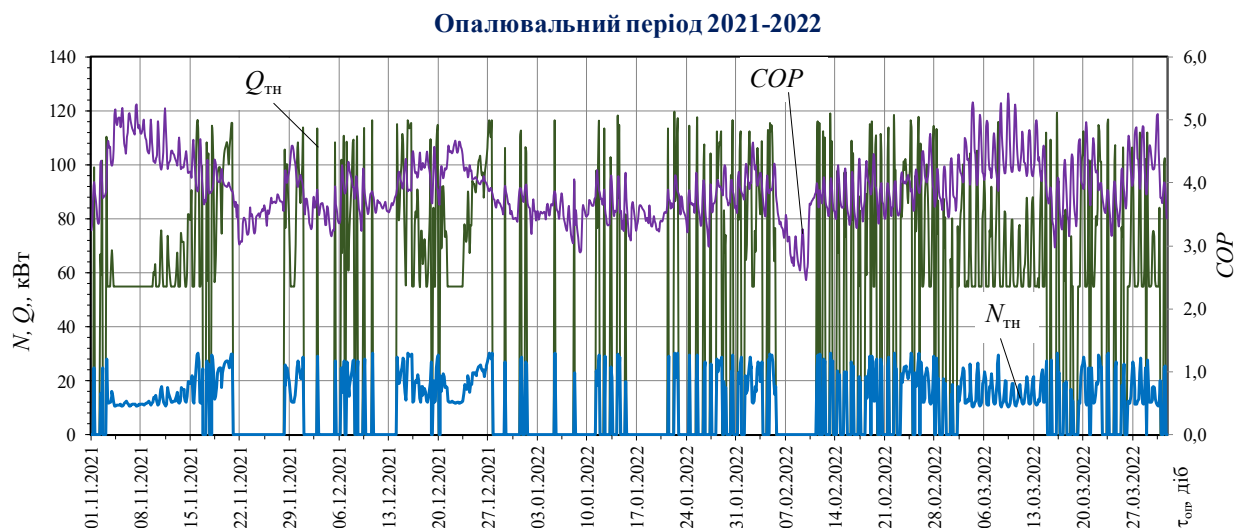


Рис. 4.7. Залежності коефіцієнта COP, теплове навантаження $Q_{\text{ТН}}$ та електричне навантаження на теплові насоси $N_{\text{ТН}}$ при температурі теплоносія в системі опалення $t_{\text{wl}} = 45^\circ\text{C}$.

Дослідження показало залежність сумарного споживання електричної енергії в комбінованій схемі з тепловим насосом від температури теплоносія в системі опалення:

- За температури 35°C загальне електроспоживання становить 35600 кВт.
- При температурі 45°C сумарне споживання електроенергії зростає до 44540 кВт.
- З підвищенням температури до 55°C сумарне електроспоживання досягає 54800 кВт.

Чітко простежується тенденція: зі збільшенням температури теплоносія пропорційно зростає й сумарне споживання електричної енергії (рис. 4.8), що наочно демонструє залежність енергоефективності системи від температурного режиму.

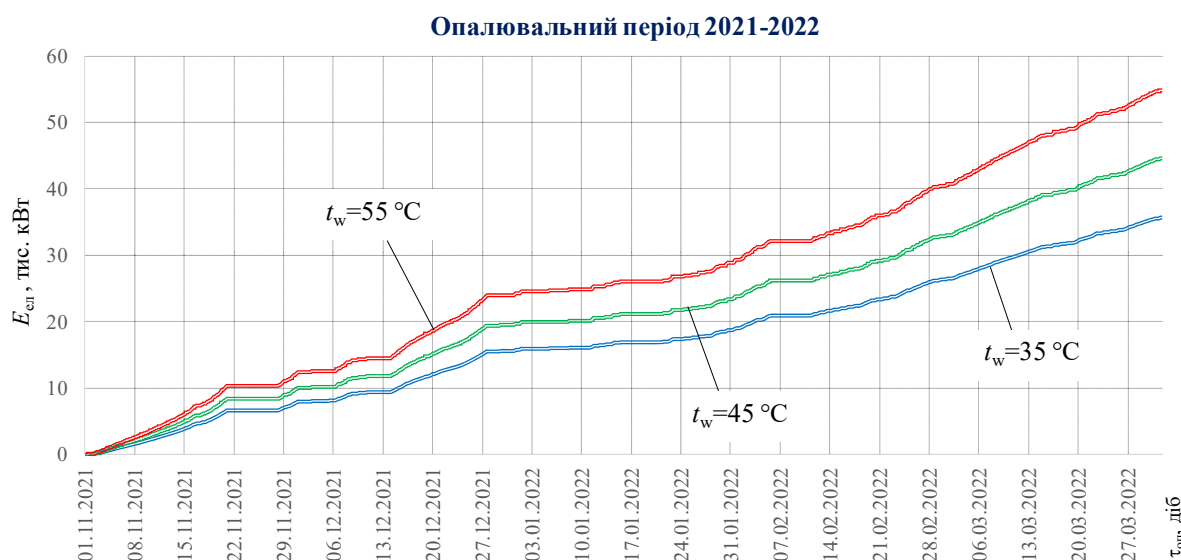


Рис. 4.8. Залежності сумарного споживання електричної енергії для комбінованої схеми із тепловим насосом $E_{\text{ел}}$ для різних температур теплоносія в системі опалення: $t_w = 35\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t_w = 45\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t_w = 55\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Опалювальний період протягом 2022-2023 років.

У системі теплопостачання, що працює виключно на газовому котлі, середня питома витрата природного газу протягом опалювального сезону становить 34,3 кг/год (рис. 4.9).

Впровадження теплового насосу в комбіновану схему спричиняє суттєве скорочення споживання паливних ресурсів. Середня питома витрата газу зменшується до 28,0 кг/год, що є значним показником енергоефективності.

Графік демонструє унікальну особливість такої системи: існують періоди, коли газовий котел взагалі не задіяний. В ці проміжки часу відбувається повне заміщення газового опалення тепловим насосом, що супроводжується нульовою витратою газу та реєструється лише споживання електричної енергії.

Це підтверджує високий потенціал комбінованих систем теплопостачання з тепловими насосами для оптимізації енергоспоживання.



Рис. 4.9. Залежності питомої витрати природного газу для базової схеми із газовим котлом $G_{r, \text{газ}}$ та витрати природного газу для комбінованої схеми із тепловим насосом $G_{r, (+TH)}$.

При аналізі споживання природного газу для базової схеми із газовим котлом та для комбінованої схеми із тепловим насосом по місяцях (рис. 4.10) визначено, що в листопаді та березні споживання газу скорочується майже в два рази.

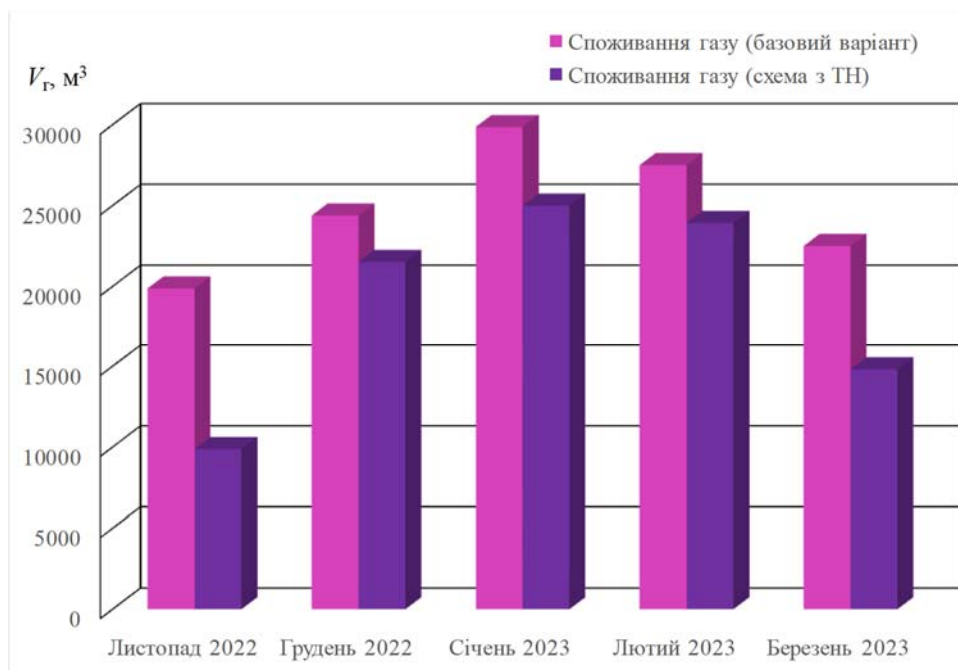


Рис. 4.10. Споживання природного газу для базової схеми із газовим котлом та для комбінованої схеми із тепловим насосом по місяцях.

У свою чергу, сумарна витрата природного газу за весь період складає для системи тепlopостачання, що обслуговується лише газовими котлами – $\Sigma V_{г.газ} = 124,2$ тис. m^3 та для комбінованої схеми (з тепловим насосом) – $\Sigma V_{г.(+TH)} = 95,1$ тис. m^3 , що на 29,1 тис. m^3 менше.

За різних температурних режимів значення COP змінюються наступним чином:

- При температурі $35^{\circ}C$ коефіцієнт перетворення коливається в межах 1,89–4,85.
- За температури $45^{\circ}C$ діапазон звужується до 1,65–3,83.
- При $55^{\circ}C$ показник COP зменшується до 1,42–3,1.

Графік теплового навантаження для початкової температури теплоносія $45^{\circ}C$ демонструє, що теплові насоси забезпечують потужність у межах 120 кВт, при цьому електричне навантаження на компресори становить до 38 кВт (рис. 4.11).



Рис. 4.11. Залежності коефіцієнта COP, теплове навантаження на тепловий насос Q_{TH} , електричне навантаження на тепловий насос N_{TH} при температурі теплоносія в системі опалення $t_{w1} = 45^{\circ}C$.

У комбінованій схемі з тепловим насосом споживання електричної енергії варіюється залежно від зовнішньої температури, досягаючи максимального значення 11490 кВт. Наведемо залежність сумарного споживання електричної енергії в комбінованій схемі з тепловим насосом від температури теплоносія в системі опалення:

- За температури 35°C загальне електроспоживання становить 26300 кВт.
- При температурі 45°C сумарне споживання електроенергії зростає до 32840 кВт.
- З підвищенням температури до 55°C сумарне електроспоживання досягає 40400 кВт.

Чітко простежується тенденція: зі збільшенням температури теплоносія пропорційно зростає й сумарне споживання електричної енергії (рис. 4.12), що наочно демонструє залежність енергоефективності системи від температурного режиму.

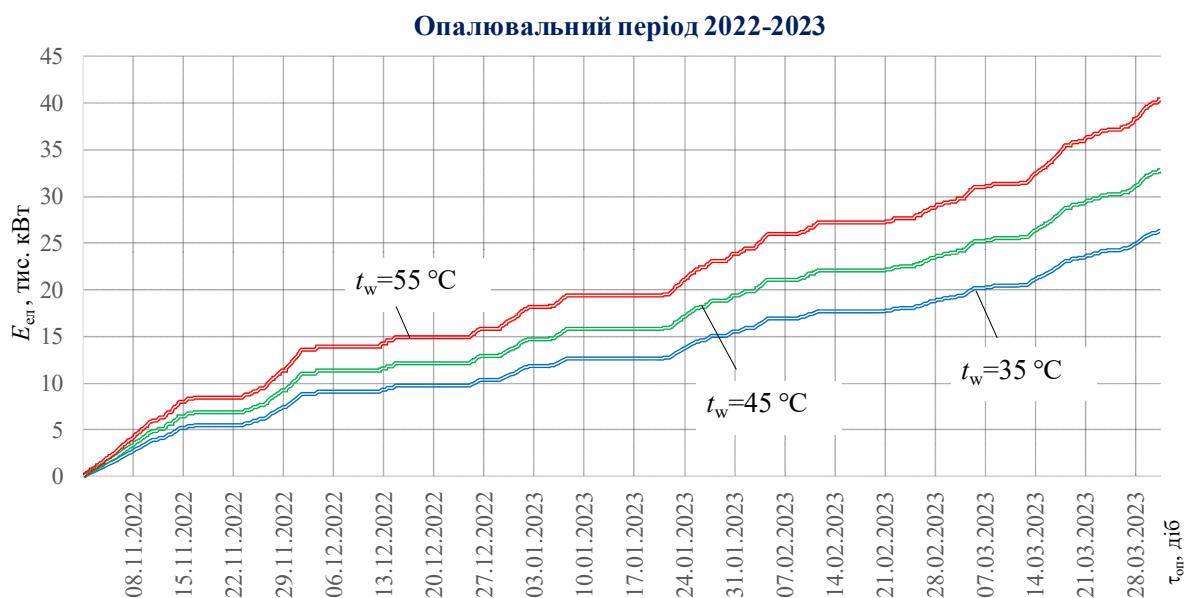


Рис. 4.12. Залежності сумарного споживання електричної енергії для комбінованої схеми із тепловим насосом $E_{ел}$ для різних температур теплоносія в системі опалення: $t_w = 35\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t_w = 45\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t_w = 55\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Опалювальний період протягом 2023-2024 років.

У системі теплопостачання, що працює виключно на газовому котлі, середня питома витрата природного газу протягом опалювального сезону становить 34,6 кг/год (рис. 4.13).

Впровадження теплового насосу в комбіновану схему спричиняє суттєве скорочення споживання паливних ресурсів. Середня питома витрата газу зменшується до 28,9 кг/год, що є значним показником енергоефективності.

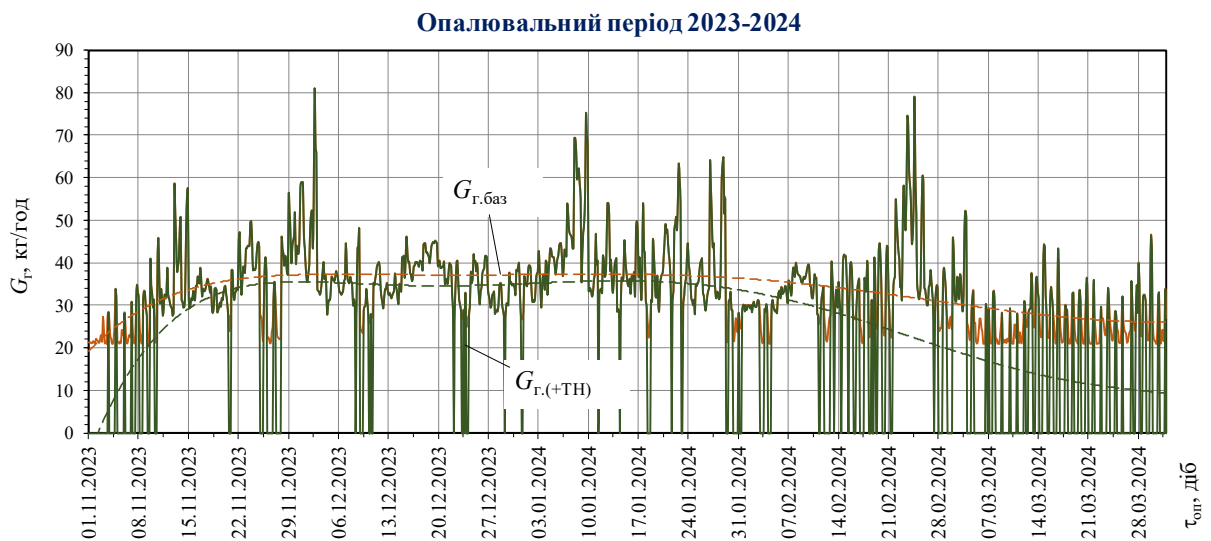


Рис. 4.13. Залежності питомої витрати природного газу для базової схеми із газовим котлом $G_{г.баз}$ та витрати природного газу для комбінованої схеми із тепловим насосом $G_{г.(+ТН)}$.

На рис. 4.14 наведено аналізі споживання природного газу для базової схеми із газовим котлом та для комбінованої схеми із тепловим насосом по місяцях.

У свою чергу, сумарна витрата природного газу за весь період складає для системи теплопостачання, що обслуговується лише газовими котлами – $\Sigma V_{г.баз} = 121,9$ тис. м^3 та для комбінованої схеми (з тепловим насосом) – $\Sigma V_{г.(+ТН)} = 98,8$ тис. м^3 , що на 23,1 тис. м^3 менше ніж в базовому варіанті.

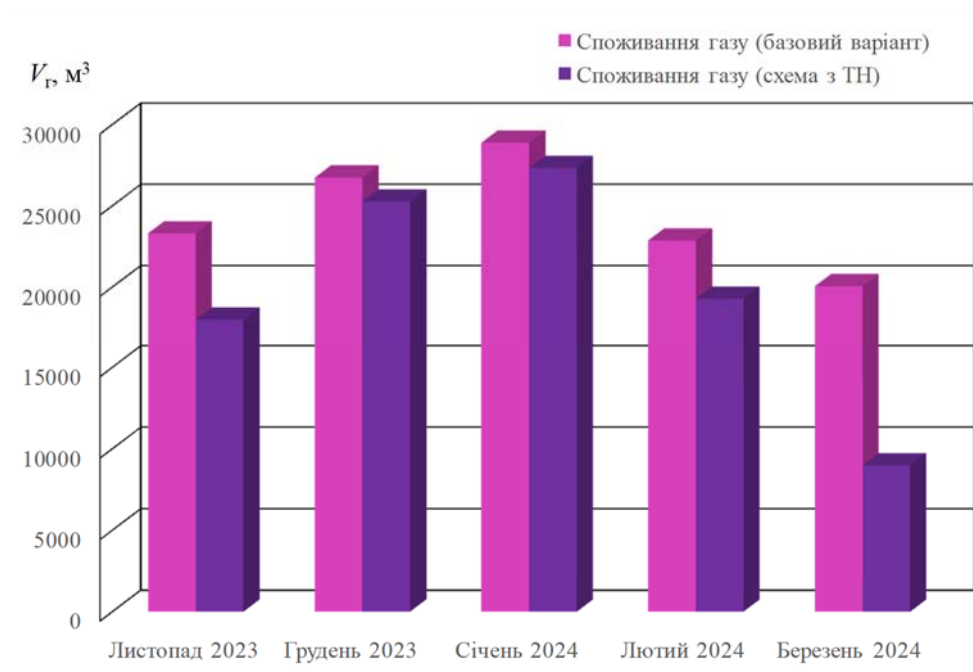


Рис. 4.14. Споживання природного газу для базової схеми із газовим котлом та для комбінованої схеми із тепловим насосом по місяцях.

За різних температурних режимів значення COP змінюються наступним чином:

- При температурі 35°C коефіцієнт перетворення коливається в межах 2,5–5,1.
- За температури 45°C діапазон звужується до 2,07–4,01.
- При 55°C показник COP зменшується до 1,74–3,19.

Графік теплового навантаження для початкової температури теплоносія 45°C демонструє, що теплові насоси забезпечують потужність у межах 102–115 кВт, при цьому електричне навантаження на компресори становить до 37 кВт (рис. 4.15).

Показники споживання електричної енергії для комбінованої схеми із тепловим насосом складають до $E_{\text{ел}} = 11200$ кВт. Найбільші значення витрати електроенергії спостерігаються в листопаді, березні, що пов'язано з більшою кількістю теплих днів, коли температура повітря не знижується нижче 4°C і в системі працює тепловий насос.

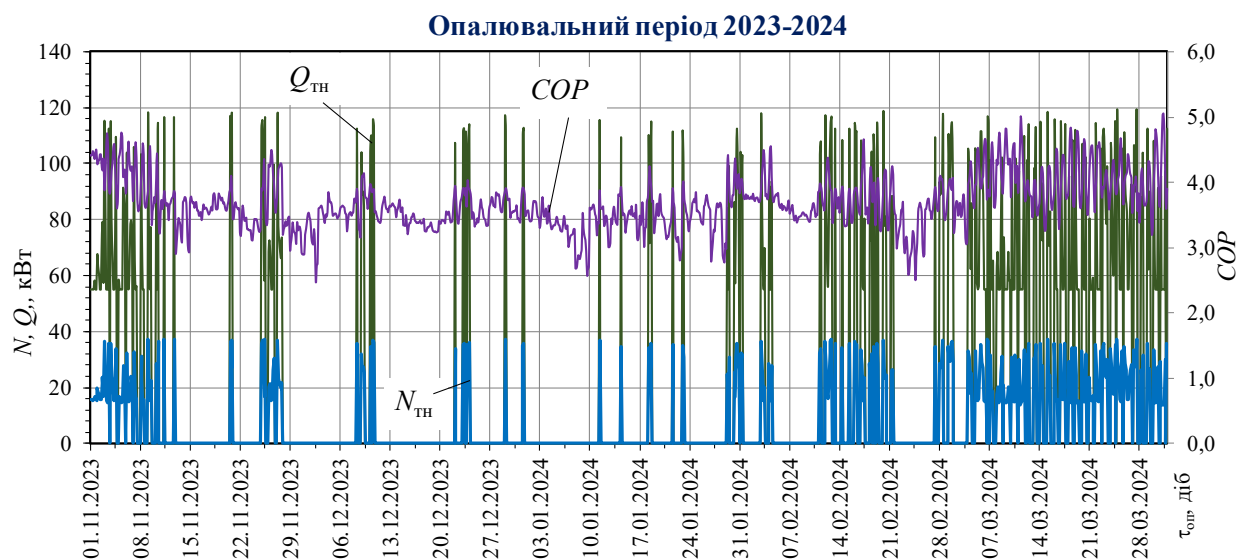


Рис. 4.15. Залежності коефіцієнта COP , теплове навантаження на тепловий насос Q_{TH} , електричне навантаження на тепловий насос N_{TH} при температурі теплоносія в системі опалення $t_{w1} = 45\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Наведемо залежність сумарного споживання електричної енергії в комбінованій схемі з тепловим насосом від температури теплоносія в системі опалення:

- За температури 35°C загальне електроспоживання становить 20400 кВт.
- При температурі 45°C сумарне споживання електроенергії зростає до 25500 кВт.
- З підвищенням температури до 55°C сумарне електроспоживання досягає 31320 кВт.

Чітко простежується тенденція: зі збільшенням температури теплоносія пропорційно зростає й сумарне споживання електричної енергії (рис. 4.16), що наочно демонструє залежність енергоефективності системи від температурного режиму.

Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата

КР.144.6241мх.05.04.ПЗ

Лист

69

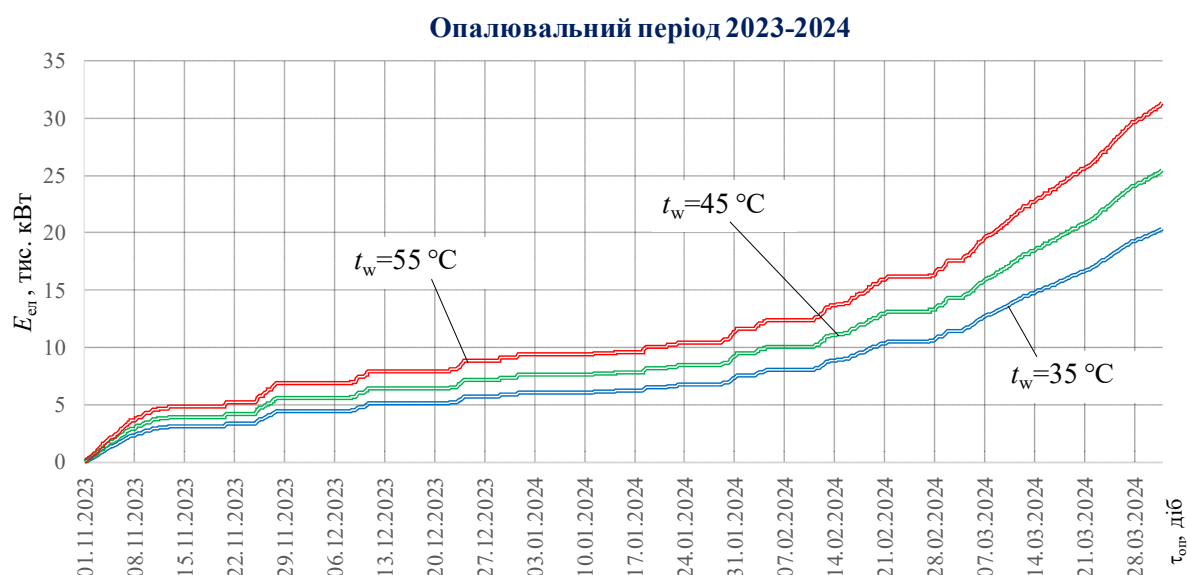


Рис. 4.16. Залежності сумарного споживання електричної енергії для комбінованої схеми із тепловим насосом $E_{\text{ел}}$ для різних температур теплоносія в системі опалення: $t_w = 35\text{ °C}$, $t_w = 45\text{ °C}$, $t_w = 55\text{ °C}$.

Проведений аналіз дозволяє стверджувати про високу перспективність використання теплового насосу в комбінації з газовим котлом для опалення на півдні України.

Ключовим аргументом є кліматичні особливості регіону: впродовж зимового сезону майже половина днів характеризується температурою вище 4 °C . В такі періоди система функціонує виключно на тепловому насосі, що забезпечує суттєву економію паливних ресурсів.

Електроспоживання теплового насосу за весь опалювальний період коливається в межах $30,0\text{--}50,0$ тис. кВт·год, що робить таке рішення досить привабливим з точки зору енергоефективності та економічної доцільності.

Отже, запропонована схема теплопостачання може стати оптимальним інженерним рішенням для кліматичних умов півдня України.

4.3. Аналіз економічної ефективності застосування нового схемного рішення в системі теплопостачання.

Проведено економічний аналіз впровадження комбінованої системи опалення з газовим котлом та тепловим насосом, де враховано вплив зовнішньої температури.

При розрахунках використано наступні актуальні тарифи:

- Природний газ: 12,0 грн/м³ (включно з транспортуванням) за даними ТОВ "Нафтогаз".
- Електроенергія: 4,32 грн/(кВт·год) від АТ "Херсонобленерго" для приватних споживачів з договірною потужністю до 50 кВт.

Валютний курс прийнято на рівні 40,1 грн/дол.

Аналіз грошових витрат на природний газ за три останні опалювальні періоди показав цікаву закономірність. Максимальна економія припадає на листопад та березень, що пояснюється більш високими середньомісячними температурами повітря.

Графіки (рис. 4.17–4.22) наочно демонструють динаміку скорочення витрат з урахуванням електроспоживання теплового насосу. Різниця у витратах пов'язана з кліматичними особливостями та режимами роботи опалювальної системи.

Економічна ефективність впровадження теплового насосу в комбінації з газовим котлом демонструє наступні результати за три опалювальні періоди:

1. Опалювальний період 2021-2022 років:

Економія природного газу: 11,0–12,5 тис. м³ (56–64%).

Грошова економія без урахування витрат на електроенергію: 176,0–200,7 тис. грн (4,8–5,5 тис. дол. США).

Чиста економія з урахуванням витрат на електроенергію: 159,0–182,0 тис. грн (4,0–5,0 тис. дол. США).

					КР.144.6241мх.05.04.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		71

2. Опалювальний період 2022-2023 років:

Економія природного газу: 7,7–10,0 тис. м³ (34–50%).

Грошова економія без урахування витрат на електроенергію: 123,1–160,3 тис. грн (3,4–4,4 тис. дол. США).

Чиста економія з урахуванням витрат на електроенергію: 107,6–142,7 тис. грн (2,9–3,9 тис. дол. США).

3. Опалювальний період 2023-2024 років:

Економія природного газу: 5,3–11,0 тис. м³ (22–55%).

Грошова економія без урахування витрат на електроенергію: 85,2–177,1 тис. грн (2,3–4,8 тис. дол. США).

Чиста економія з урахуванням витрат на електроенергію: 75,8–157,7 тис. грн (2,1–4,3 тис. дол. США).

Результати демонструють стабільну економічну ефективність впровадженої системи, хоча показники дещо варіюються за різні опалювальні періоди.

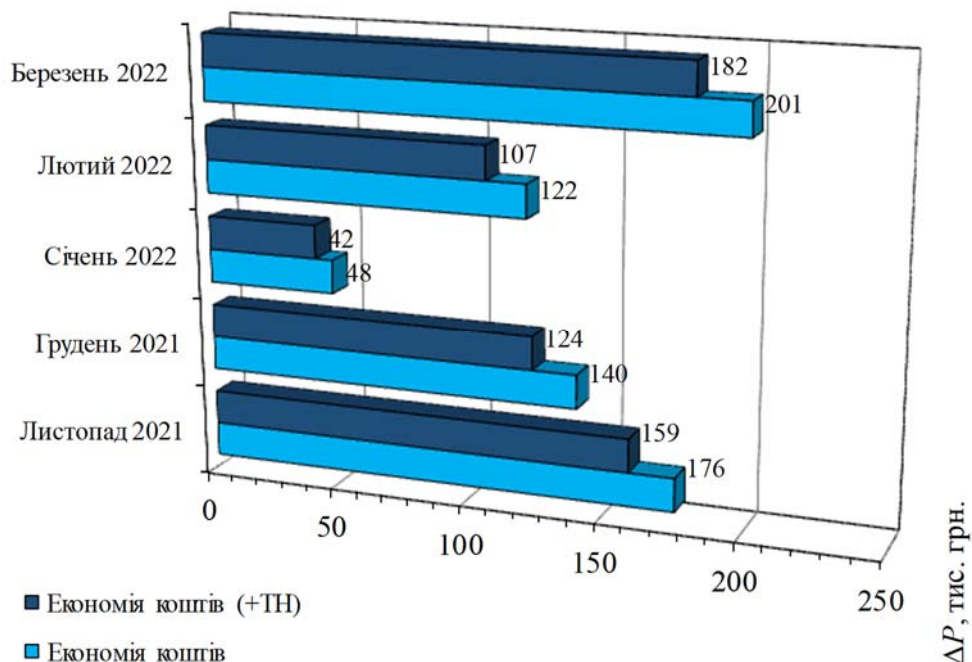


Рис. 4.17. Економія коштів від скорочення витрати природного газу для схеми з комбінованим застосуванням газового котла та теплового насосу по місяцях за 2021-2022 опалювальний період (грн).

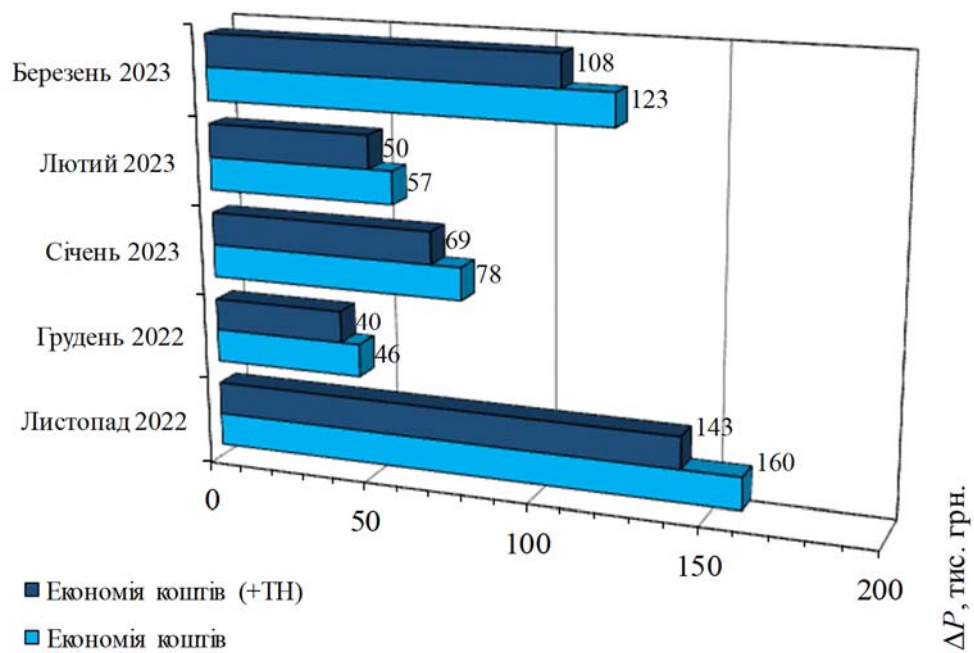


Рис. 4.18. Економія коштів по місяцях за 2022-2023 опалювальний період (грн).

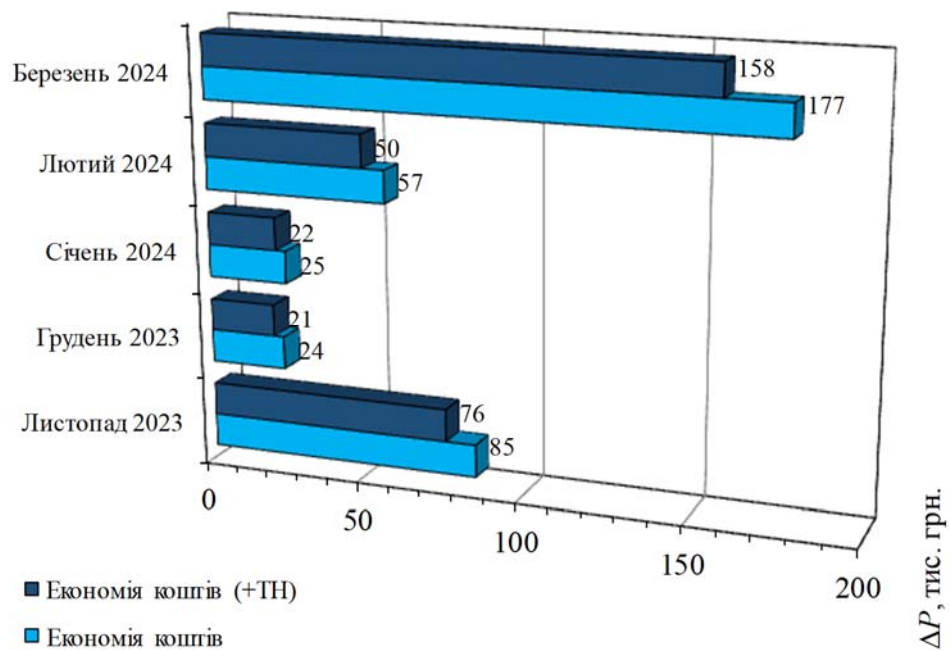


Рис. 4.19. Економія коштів по місяцях за 2023-2024 опалювальний період (грн).

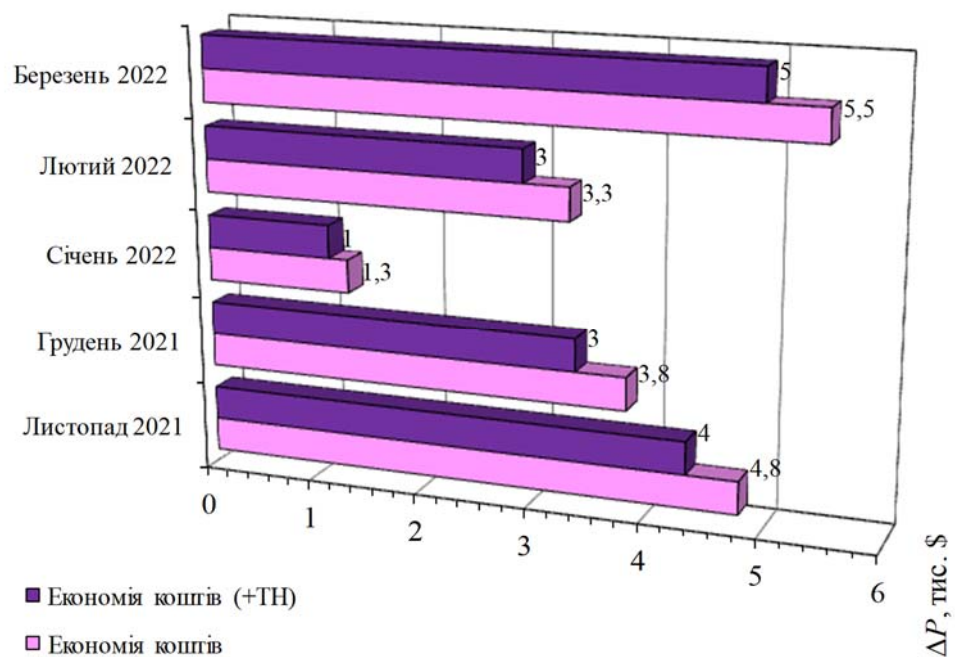


Рис. 4.20. Економія коштів по місяцях за 2021-2022 опалювальний період (дол. США).

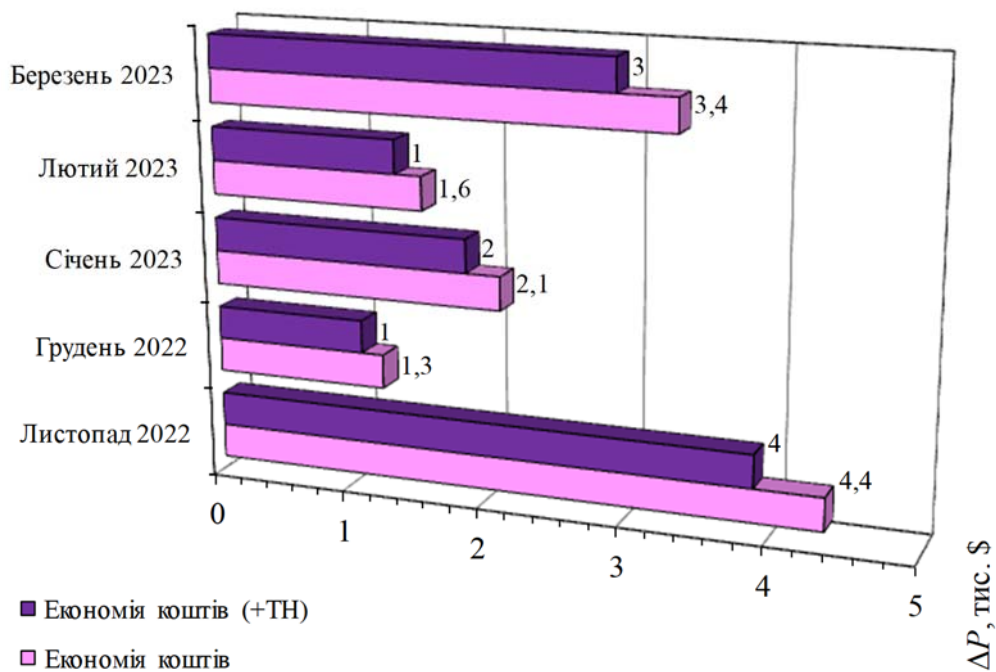


Рис. 4.21. Економія коштів по місяцях за 2022-2023 опалювальний період (дол. США).

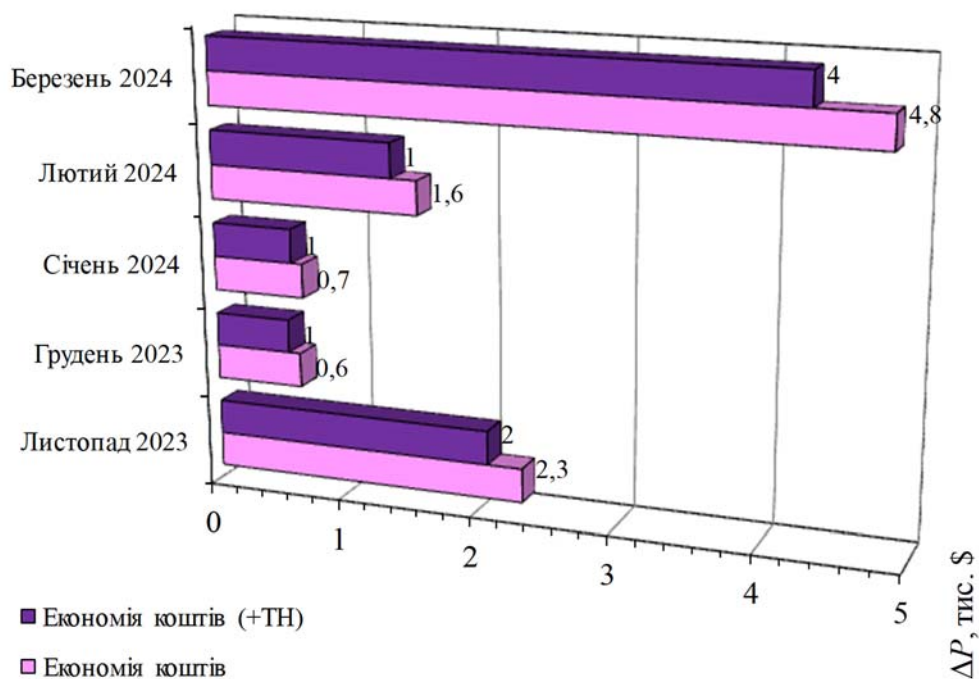


Рис. 4.22. Економія коштів по місяцях за 2023-2024 опалювальний період (дол. США).

Отримані результати підтверджують перспективність впровадження комбінованих систем теплопостачання з тепловими насосами.

4.4. Висновки по розділу 4.

1) Розроблено комбіновану схему теплопостачання, яка інтегрує газовий котел і тепловий насос, що забезпечує підвищення енергоефективності системи опалення. Встановлено, що коефіцієнт перетворення (COP) теплового насосу варіюється в межах 1,74–5,42 залежно від температури теплоносія. Виявлено, що підвищення температури теплоносія призводить до зменшення ефективності теплового насосу та збільшення споживання електроенергії.

2) Запропоновано інноваційний підхід до побудови системи теплопостачання з урахуванням погодозалежного режиму роботи, який дозволяє оптимізувати використання різних джерел теплової енергії. Доведено, що для півдня України використання теплового насосу є

перспективним, оскільки близько половини зимових днів мають температуру вище 4°C.

3) Впровадження теплового насосу дозволяє суттєво скоротити витрати на паливо та підвищити загальну ефективність системи опалення. З урахуванням витрат на електроспоживання теплових насосів чиста економія становить 176,0–200,7 тис. грн (4,8–5,5 тис. дол. США).

					КР.144.6241мх.05.04.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		76

					КР.144.6241мх.05.05.ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
					Економічний розділ			
Студент		Ненашева А.І.						
Керівник		Кобалава Г.О.						
Консульт.								
					Літ.		Арк.	Аркушів
					НУК			
					77			

5. РОЗДІЛ З ОХОРОНИ ПРАЦІ

5.1. Заходи з охорони праці при експлуатації та монтажі теплових насосів.

До загальних вимог охорони праці відноситься професійний відбір і навчання працюючих; здійснення контролю за виконанням вимог техніки безпеки. Працівники, влаштовуючись на роботу, повинні пройти інструктаж з охорони праці. Керівництво повинно стежити за виконанням працівниками правил охорони праці. Для захисту обслуговуючого персоналу від уражень електричним струмом, в разі порушення ізоляції, всі металеві неструмоведучих частини електрообладнання і корпусу світильників приєднати до системи зрівнювання потенціалів.

Експлуатація, будівництво, монтаж обладнання проводити за вимогами:

- 1) ДБН А.3.2-2-2009 «Охорона праці і техніка безпеки в будівництві»;
- 2) ДБН В.2.5-20-2001 «Газопостачання»;
- 3) НПАОП 0.00-1.76-15 «Правила безпеки систем газопостачання»;
- 4) НПАОП 40.1-1.21-98 «Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів»;
- 5) «Правила улаштування електроустановок»;
- 6) НПАОП 0.00-1.81-18 «Правила охорони праці під час експлуатації обладнання, що працює під тиском»;
- 7) НПАОП 45.2-7.03-17 «Мінімальні вимоги з охорони праці на тимчасових або мобільних будівельних майданчиках».

Санітарний стан приміщень повинно відповідати вимогам, встановленим нормативними актами МОЗ.

В якості первинного засобу пожежогасіння передбачені вогнегасники порошкові ОП-5, що зберігаються в шафах для пожежних кранів.

					КР.144.6241мх.05.05.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		78

Обслуговування електроустановок, проведення в них оперативних перемикань, організацію та проведення ремонтних, монтажних або налагоджувальних робіт та випробування здійснюються спеціально підготовленим електротехнічним персоналом, що пройшов перевірку знань в обов'язі, обов'язковому для даної роботи і мають кваліфікаційну групу з електробезпеки, передбачену «Правилами безпечної експлуатації електроустановок споживачів» (НПАОП 40.1-1.21-98).

Персонал, який обслуговує електроустановки, повинен бути забезпечений усіма необхідними засобами захисту, що забезпечують безпеку його роботи відповідно до вимог «Правил експлуатації електрозахисних засобів» НПАОП 40.1-1.07-01.

Відповідальність за експлуатацію електроустановок несе особа, призначена з числа ІТП відповідно до п.1.3.1. «Правилами безпечної експлуатації електроустановок споживачів» (НПАОП 40.1-1.21-98)

При експлуатації електроустановок необхідно дотримуватись вимог пожежної безпеки, викладені в НАПБ А.01.001-14 «Правила пожежної безпеки в Україні».

При експлуатації забезпечується технічно справний стан теплового насоса. Проводиться щоквартальне технічне обслуговування та щомісячна перевірка рівня холодоагенту в ресивері та олії в компресорі. Нормальні параметри роботи теплового насоса записані в журналі і щомісяця звіряються з реальними виявленими несправностями. До журналу, який веде господар будинку, вносяться всі істотні маніпуляції, які проводилися з тепловим насосом (заправка фреоном, заміна фільтрів тощо).

Обслуговують установку особи, яка має відповідну кваліфікацію за професією (спеціальністю), яка пройшла в установленому порядку навчання, стажування, інструктаж та перевірку знань з питань охорони праці. Робітники, допущені до експлуатації теплонасосної установки, знають:

– можливий вплив шкідливих та (або) небезпечних виробничих факторів;

					КР.144.6241мх.05.05.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		79

- будову та принцип дії теплонасосної установки, що обслуговується;
- схеми та натурне розміщення трубопроводів теплонасосної системи;
- характеристики та властивості холодильного агенту;
- вимоги локальних нормативних правових актів, які регламентують безпечну експлуатацію холодильних установок;
- порядок заповнення та спорожнення холодильних установок холодильним агентом;
- порядок та прийоми дії в аварійних ситуаціях;
- правила користування засобами індивідуального захисту, інструментом та пристроями.

У приміщенні, де встановлений тепловий насос, на видному місці вивішені:

- принципові технологічні схеми трубопроводів з розміщенням на них холодильного та технологічного обладнання з пронумерованою запірною арматурою, нанесенням місць розміщення контрольно-вимірювальних приладів та автоматики;
- плани розміщення холодильного та технологічного обладнання, трубопроводів та запірної арматури;
- графік технічного обслуговування та ремонту обладнання холодильних установок;
- телефони осіб, відповідальних за експлуатацію, технічне обслуговування та ремонт холодильних установок, швидкої медичної допомоги, органів та підрозділів з надзвичайних ситуацій, аварійно-рятувальних служб та інших спеціальних підрозділів, які мають бути негайно повідомлені про аварію чи пожежу;
- покажчики місцезнаходження аптечки першої медичної допомоги та засобів індивідуального захисту.

Приміщення, де розташовані теплові насоси, повинно бути достатніх розмірів, щоб усі частини обладнання установок були легкодоступними та

					КР.144.6241мх.05.05.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		80

знаходилися на достатній відстані для того, щоб належним чином забезпечувати догляд за ним та експлуатацію. Двері в даному приміщенні добре підігнані і відчиняються у бік виходу. Підлоги в даному приміщенні рівні, вогнетривкі, що не піддаються швидкому зносу, маслостійкі і нековзкі. Висвітлення відповідає вимогам технічних нормативних правових актів та забезпечує їх достатньою освітленістю для безпечного виконання робіт.

При експлуатації теплового насоса виконуються вимоги, що забезпечують зниження впливу на людей шкідливих та (або) небезпечних виробничих факторів:

- підвищеної чи зниженої температури поверхні установки;
- підвищеного тиску холодильного агента в апаратах та трубопроводах;
- підвищений рівень шуму;
- підвищений рівень вібрації;
- замикання електричних кіл через тіло людини;
- недостатньої освітленості робочих зон.

Матеріали, що застосовуються для конструювання, зварювання та паяння систем, відповідають вимогам хімічного, механічного та температурного впливу на них. Матеріал, товщина стінок, межа міцності, пластичність, корозійна стійкість, формування та методи випробувань труб відповідають використовуваному холодильному агенту, холодоносію та тиску, механічному та температурному напругам, передбаченим робочими умовами.

Тепловий насос вибирається на підставі теплотехнічних та гідравлічних розрахунків відповідно до вимог технічних нормативних правових актів, проектної документації. Також під час експлуатації проводиться візуальний огляд обладнання теплонасосної установки, перевірка її герметичності, очищення поверхні від бруду та пилу. Не використовуються ртутні термометри. Витоки шукаються за допомогою течешукачів та мильної піни.

					КР.144.6241мх.05.05.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		81

При виявленні витoku холодильного агента видаляється холодильний агент з пошкодженої ділянки теплонасосної установки, попередньо зупинивши її, перекривши запірну арматуру пошкодженої ділянки, включити витяжну вентиляцію та усунути виток. У разі перерви в роботі теплонасосної установки в зимовий час, при небезпеці замерзання води, остання видаляється з усіх машин та апаратів з водяним охолодженням, а також із водяних магістралей.

Технічне обслуговування, ремонт теплового насосу здійснюється відповідно до вимог нормативних правових актів, технічних нормативних правових актів, експлуатаційних документів. Застосування зварювання та паяння при ремонті обладнання теплонасосної установки, в якій знаходиться холодильний агент, проводиться після його відключення та звільнення від холодильного агента за наявності наряду-допуску, виданого у встановленому порядку. Мазильні олії застосовуються відповідно до технічних нормативних правових актів, експлуатаційних документів.

Системи контролю, автоматичного та дистанційного керування (системи керування), протиаварійного автоматичного захисту, у тому числі комплектно, що постачаються з обладнанням теплового насосу, відповідають вимогам технічних нормативних правових актів, проектної документації та забезпечують задану точність підтримки технологічних параметрів, надійність та безпеку експлуатації теплового насосу. Системи контролю, управління та протиаварійного автоматичного захисту холодильної системи розміщуються у місцях, зручних та безпечних для обслуговування, що виключають неприпустимі вібрації, механічні та інші шкідливі впливи, що впливають на точність та надійність. При монтажі, використанні за призначенням теплонасосної установки тиск у будь-якій її частині не вищий за допустимий тиск. Для запобігання підвищенню тиску під час роботи теплового насосу використано обмежувачі тиску різного типу (захисні пристрої).

Тепловий насос оснащений справними системами протиаварійного захисту, що зупиняють компресор або блокують його пуск при досягненні

					КР.144.6241мх.05.05.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		82

гранично допустимих значень контрольованих параметрів, передбачених організацією-виробником або проектною документацією. Система протиаварійного захисту та системи керування тепловим насосом виключають ризик небезпечного впливу на людей, зайнятих обслуговуванням ТН. Справність приладів протиаварійного захисту компресора ТН перевіряється у строки, передбачені організацією-виробником та проектною документацією. ТН оснащений реле високого тиску, що зупиняє компресор при підвищенні тиску нагнітання до заданої величини. Системи протиаварійного захисту мають замкнути вихідний ланцюг або замкнуті контакти при нормальному стані контрольованих параметрів. Контакти цих приладів розмикаються у разі спрацювання. Електричні схеми теплонасосної установки повинні унеможливлувати автоматичний запуск компресора після спрацювання систем протиаварійного захисту. Пуск його має бути можливим лише після ручного деблокування протиаварійного захисту.

Перед заповненням теплонасосної установки холодильним агентом переконалися, що в балоні міститься відповідний холодильний агент. Відкривати ковпачкову гайку на вентилі балона необхідно у захисних окулярах. При цьому вихідний отвір вентиля балона спрямований у бік від працюючого. При заповненні теплонасосної установки холодильним агентом користуємось осушувальним патроном. Залишати балони з холодильним агентом, приєднаними до теплонасосної установки, якщо не проводиться заповнення або видалення з неї холодильного агента, забороняється. У машинному відділенні теплонасосної установки допускається зберігати трохи більше одного балона з холодильним агентом. Балон із холодильним агентом забороняється розміщувати біля печей, опалювальних пристроїв, парових труб, інших джерел тепла та струмопровідних кабелів та проводів. Для наповнення холодильним агентом з теплонасосної установки використовуватись лише балони з непростроченою датою їх технічного огляду та відповідним маркуванням. Норма заповнення має перевищувати допустимих значень. Перевірка наповнення балонів виконується

					КР.144.6241мх.05.05.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		83

зважуванням. Початкове заповнення теплонасосної установки холодинним агентом оформляється актом із додатком розрахунку необхідної кількості холодинного агента. У разі відсутності витoku холодинного агента при транспортуванні теплонасосної установки повної заводської готовності акт про початкове заповнення теплонасосної установки холодинним агентом не складається.

5.2. Аспекти збереження екології.

Загальні вимоги в галузі охорони навколишнього середовища при розміщенні, проектуванні, будівництві, введенні у експлуатацію, експлуатації, консервації споруд та інших об'єктів визначені Законом України «Про охорону навколишнього природного середовища». Цим законом встановлено, що використання природних ресурсів громадянами, підприємствами, установами та організаціями здійснюється з дотриманням обов'язкових екологічних вимог, зокрема:

- раціонального і економного використання природних ресурсів на основі широкого застосування новітніх технологій;
- здійснення заходів щодо запобігання псуванню, забрудненню, виснаженню природних ресурсів, негативному впливу на стан навколишнього природного середовища;
- здійснення заходів щодо відтворення відновлюваних природних ресурсів;
- застосування біологічних, хімічних та інших методів поліпшення якості природних ресурсів, які забезпечують охорону навколишнього природного середовища і безпеку здоров'я населення;
- збереження територій та об'єктів природно-заповідного фонду, а також інших територій, що підлягають особливій охороні;
- здійснення господарської та іншої діяльності без порушення екологічних прав інших осіб.

					КР.144.6241мх.05.05.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		84

Заходи, спрямовані на запобігання, відвернення, уникнення, зменшення, усунення значного негативного впливу на здоров'я населення, визначені Законом України «Про забезпечення санітарного та епідеміологічного благополуччя населення», зокрема у відповідності до вимог статті 24 щодо відвернення і зменшення шкідливого впливу на здоров'я населення шуму, неіонізуючих випромінювань та інших фізичних факторів, мають бути розглянуті:

- відповідні організаційні, господарські, технічні, технологічні, архітектурно-будівельні та інші заходи щодо попередження утворення та зниження шумів до рівнів, установлених санітарними нормами;
- заходи радіаційної безпеки, відповідних санітарних правил, а також заходи, встановлені нормами, іншими актами законодавства, що містять вимоги радіаційної безпеки.

Застосування теплових насосів в системі теплопостачання для житлових будівель – це екологічно чистий спосіб обігріву. Така установка не тільки заощадить гроші на енергоресурси, але і збереже здоров'я мешканцям будинку. Дані опалювальні установки не спалюють паливо і, відповідно, не утворюють шкідливі для людини оксиди. Застосування теплових насосів позитивно впливає на екологію всієї планети, скорочується вироблення електроенергії на ТЕЦ. Фреони, що використовуються у теплових насосах озонобезпечні і не містять хлорвуглеводнів.

Впровадження вищезазначених заходів та застосування більш екологічно чистого обладнання сприятиме покращенню умов проживання, оздоровленню навколишнього середовища та підвищенню його екологічної стійкості до техногенних навантажень.

					КР.144.6241мх.05.05.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		85

5.3. Висновки по розділу 5.

1) Визначені заходи з охорони праці при експлуатації та монтажі теплонасосних установок забезпечують безпечне їх використання.

2) Розглянуті аспекти екологічної безпеки сприяють покращенню умов проживання, оздоровленню навколишнього середовища та підвищенню його екологічної стійкості до техногенних навантажень при застосуванні теплових насосів в системах теплопостачання житлових будівель.

					КР.144.6241мх.05.05.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		86

					КР.144.6241мх.05.06.ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
					Заключний розділ	Літ.	Арк.	Аркушів
Студент		Ненашева А.І.						
Керівник		Кобалава Г.О.						
Консульт.						НУК		
								87

ВИСНОВКИ

1) Проведено аналіз сучасного стану систем опалення в житловому секторі, який характеризується стійкою тенденцією до впровадження інноваційних технологій, спрямованих на підвищення енергетичної ефективності, зниження експлуатаційних витрат та мінімізацію негативного впливу на навколишнє середовище.

2) Представлені основні положення методології проведення дослідження, обробки та аналізу результатів енергетичного моніторингу, яка базується на принципах репрезентативності, системності та неперервності спостереження. Розроблений методичний інструментарій включає статистичні, графоаналітичні та математичні методи ідентифікації закономірностей енергоспоживання, що дозволяє здійснювати багатовимірний аналіз та прогнозування теплоенергетичних режимів.

3) Запропоновано конструктивне рішення застосування теплових насосів в системі теплопостачання комбінованого типу.

4) На основі проведених досліджень запропоновано низку заходів для підвищення енергоефективності системи теплозабезпечення. Основний акцент зроблено на модернізації теплогенеруючого обладнання із застосуванням теплових насосів. На прикладі житлового комплексу «Світанок» встановлено залежності рівня енергоспоживання (природного газу, електроенергії та котлової води) від коливань температури навколишнього середовища, що обґрунтувало розробку схеми застосування газових котлів у поєднанні з тепловим насосом з урахуванням погодозалежного режиму в опалювальний період.

5) Встановлено, що коефіцієнт перетворення (COP) теплового насосу варіюється в межах 1,74–5,42 залежно від температури теплоносія. Виявлено, що підвищення температури теплоносія призводить до зменшення ефективності теплового насосу та збільшення споживання електроенергії.

					КР.144.6241мх.05.06.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		88

6) Впровадження теплового насосу дозволяє суттєво скоротити витрати на паливо та підвищити загальну ефективність системи опалення. З урахуванням витрат на електроспоживання теплових насосів чиста економія становить 176,0–200,7 тис. грн (4,8–5,5 тис. дол. США).

7) Визначені заходи з охорони праці при експлуатації та монтажі теплонасосних установок забезпечують безпечне їх використання.

					КР.144.6241мх.05.06.ПЗ	Лист
						89
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

ЛІТЕРАТУРА

1. Дорошенко Ю. І. Огляд сучасних систем опалення та методик дослідження впливу температурних режимів на ефективність їх експлуатації в умовах сільського населеного пункту / Ю. І. Дорошенко // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. 2014. № 1. С. 107-118. Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/rnng_2014_1_15.

2. Хомишин В., Козак К. Аналіз систем теплопостачання житлових будівель. Матеріали IV Всеукраїнської науково-технічної конференції «Теоретичні та прикладні аспекти радіотехніки, приладобудування і комп'ютерних технологій», ТНТУ ім. І.Пулюя, 2019. С. 336-337.

3. Теплозабезпечення великих міст України: поточний стан і напрями модернізації: кол. моногр. / за ред. М. О. Кизима, Є. І. Котлярова; авт. кол.: Кизим М. О., Котляров Є. І., Хаустова В. Є., Салашенко Т. І., Красноносова О. М., Костенко Д. М., Крячко Є. М., Пономаренко Є. В., Рудика О. В., Хаустов М. М. Харків: ФОП Лібуркіна Л. М., 2021. 340 с.

4. Атаманчук В. В. Особливості розвитку систем теплопостачання й шляхи їх оптимізації. Містобудування та територіальне планування. 2009. Вип. 35. С. 25–33.

5. Тепловий насос: будова та принцип роботи. [Електронний ресурс] / https://www.youtube.com/watch?v=lstoJ_juDe4

6. Яковчук П.Є., Цяпа В.Б., Комаров В.І., Крохмальний Б.І. Тепловий насос як елемент енергозбереження. Вісник Національного університету «Львівська політехніка». 2008. № 615: Електроенергетичні та електромеханічні системи. С. 194-200.

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

					КР.144.6241мх.05.00.ПЗ	Лист
						90
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

8. Програма Meteomanz [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://meteomanz.com/>

9. Про Концепцію діяльності органів виконавчої влади у забезпеченні енергетичної безпеки України: Постанова Кабінету Міністрів України від 19.01.1998 р. № 48 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/48-98-%D0%BF>.

10. Енергозбереження в теплопостачанні: текст лекцій для студентів спеціальності «Теплоенергетика» [Електронний ресурс] / Автор М.Ф. Боженко. Вид. 2-е, перероб. і доп. Київ: НТУУ «КПІ», ТЕФ, 2015. 225 с.

11. Драганов Б.Х., Долінський А.А., Міщенко А.В., Письменний Є.М. (за ред. Б.Х. Драганова). Теплотехніка: Підручник. Київ: «ІНКОС». 2005. 504 с.

12. Pattavina J. An Introduction Heat Pumps. Technical Report. 2023. 39 p.

13. International Energy Agency (IEA). Future of Heat Pumps. 2021. URL: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/4713780d-c0ae-4686-8c9b-29e782452695/TheFutureofHeatPumps.pdf> (дата звернення: 04.09.2023).

14. Цибулько, А. Новий освітній простір. Енергоефективність. Інформаційний посібник. 2019, 42 с.

15. Державні будівельні норми України. Інженерне обладнання будинків і споруд. Зовнішні мережі та споруди. Газопостачання. ДБН В.2.5-20-2001 [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://dbn.at.ua/load/normativy/dbn/1-1-0-360>.

16. Державні будівельні норми України. Інженерне обладнання будинків і споруд. Зовнішні мережі та споруди. Теплові мережі. ДБН В.2.5-39:2008 [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://dbn.at.ua/load/normativy/dbn/1-1-0-204>.

17. Державні будівельні норми України. Опалення, вентиляція та кондиціонування. ДБН В.2.5-67:2013 [Електронний ресурс]. Режим доступу:

					КР.144.6241мх.05.00.ПЗ	Лист
						91
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

http://minregion.gov.ua/attachments/files/bydivnitstvo/texnichne-regulyuvannya/normuvannja/DBN/2014/DBN_V.2.5-67_2013.pdf.

18. Про заходи з модернізації систем теплопостачання Постанова Кабінету Міністрів України від 20.05.2009 р. № 682 [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/682-2009-п>.

19. Про заходи щодо ефективного використання газу та інших паливно енергетичних ресурсів в народному господарстві: Постанова Кабінету Міністрів України від 02.09.1993 р. № 699 [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/699-93-%D0%BF>.

20. Про комбіноване виробництво теплової та електричної енергії (когенерацію) та використання скидного енергопотенціалу: Закон України від 05.04.2005 р. № 2509-IV [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/2509-15>.

21. Про метрологію та метрологічну діяльність: Закон України від 11.02.1998р. №113/98ВР [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/113/98-вр>.

22. Про невідкладні заходи щодо забезпечення ефективного використання паливно-енергетичних ресурсів: Указ Президента України від 28.02.2008 р. № 174/2008 [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://zakon1.rada.gov.ua/laws/show/174/2008>.

23. Про оснащення житлового фонду засобами обліку та регулювання споживання води і теплової енергії: Розпорядження Кабінету Міністрів України від 11.06.2008 р. № 838-р [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/838-2008-%D1%80>

24. Viessmann VITOROND 200. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.viessmann.ru/ru/zilye-zdania/gazovye-vodogrejnnye-kotly/nizkotemperaturnye-gazovye-vodogrejnnye-kotly/vitorond-200.html>

					КР.144.6241мх.05.00.ПЗ	Лист
						92
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

25. Мандрика В.А. Підвищення еколого-економічної ефективності комунального теплопостачання шляхом використання теплових насосів. Механізм регулювання економіки, № 4, 2017. С. 201-210.

26. MITSUBISHI ELECTRIC AW-HT (Y) 0152. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://m-info.ua/ru/mitsubishi-electric-aw-ht-y-0122-0302-38-102-kvt/>

27. Konovalov, D., Kobalava, H., Radchenko, M., Karpoff, M., Shapovalov, Y. (2024). Energy Efficiency of Combined Heating Systems Based on Heat Pumps for Private Residential Buildings Under the Climatic Conditions of Ukraine. In: Tonkonogyi, V., Ivanov, V., Trojanowska, J., Oborskyi, G., Pavlenko, I. (eds) Advanced Manufacturing Processes V. InterPartner 2023. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-42778-7_49.

					КР.144.6241мх.05.00.ПЗ	Лист
						93
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		