

Міністерство освіти і науки України
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
Херсонський навчально-науковий інститут

Кафедра теплотехніки

«Допущений до захисту»

В.о. завідувача кафедри

теплотехніки

к.т.н., доцент Г.О. Кобалава

« 13 » 12 2024 р.



КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
на здобуття ступеня вищої освіти «магістр»

на тему: «Розробка системи енергетичного менеджменту для
житлового комплексу в м. Херсоні»

Виконав: студент VI курсу, групи **6248м**
спеціальності

144 «Теплоенергетика»

(шифр і назва спеціальності)

«Енергетичний менеджмент»

(назва освітньо-професійної програми)


Гуссва К.Г.

(прізвище та ініціали)

Керівник **Шаповалов Ю.О.**

(прізвище та ініціали)

Рецензент **Кобалава Г.О.**

(прізвище та ініціали)

Херсон – 2024

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

(повне найменування вищого навчального закладу)

Інститут, факультет ХННІ НУК, енерготехнічний факультет
Кафедра Кафедра теплотехніки
Рівень вищої освіти другий (магістерський)
Галузь знань 14 «Електрична інженерія»
(шифр і назва)
Спеціальність 144 «Теплоенергетика»
(шифр і назва)
Освітньо-професійна програма «Енергетичний менеджмент»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Гарант освітньої програми

к.т.н., доц. Самохвалов В.С.

« 17 » 10 2024 року

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ
на здобуття ступеня вищої освіти «магістр»

здобувачки Гусєвої Катерини Геннадіївни, група 6248м

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Розробка системи енергетичного менеджменту для житлового комплексу в м. Херсоні»

керівник роботи Шаповалов Ю.О., к.т.н., професор НУК

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

затверджені розпорядженням директора ХННІ НУК від " 17 " жовтня 2024 року № 10

2. Термін подання студентом роботи " 10 " грудня 2024 року.

3. Вихідні дані до роботи _____

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки

Вступ (Обґрунтування актуальності теми роботи).

1. Загальний розділ (Аналіз сучасного стану системи енергетичного менеджменту, особливості структури та функцій СЕНМ. Основні нормативно-правові документи для забезпечення систем енергетичного менеджменту. Коротка характеристика об'єкта дослідження. Постановка мети та завдань дослідження).

2. Теоретичний розділ (Обґрунтування необхідності впровадження систем енергетичного менеджменту. Поетапні кроки розробки системи енергетичного менеджменту для житлового комплексу. Основні методи дослідження та моніторингу споживання теплової та електричної енергії).

3. Розрахунковий розділ (Аналіз метеорологічних даних. Дослідження енергетичного потенціалу котельні для житлового комплексу. Визначення заходів щодо енергозбереження. Розробка альтернативного технічного рішення системи тепlopостачання).

4. Дослідницький розділ (Моделювання характеристик системи тепlopостачання житлового комплексу в погодозалежному режимі. Оцінка економічної ефективності застосування нового схемного рішення по місяцях за опалювальний період).

5. Охорона праці.

Висновки.

Список використаних літературних джерел.

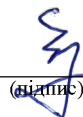
5. Перелік графічного матеріалу (Мета та задачі наукового дослідження (1-2 слайди), план розташування об'єкту дослідження (1-2 слайди), результати розробки системи енергетичного менеджменту (2-3 слайди), таблиця патентного пошуку (1 слайд), оцінка економічної ефективності заходів із енергозбереження (2-3 слайди), висновки (1 слайд).

6. Дата видачі завдання " 17 " 10 2024 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів випускної магістерської роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	Отримання завдань у керівника та консультантів	17 жовтня	виконано
2.	Загальний розділ	до 27 жовтня	виконано
3.	Теоретичний розділ	до 07 листопада	виконано
4.	Розрахунковий розділ	до 15 листопада	виконано
5.	Дослідницький розділ	до 28 листопада	виконано
6.	Охорона навколишнього середовища та охорони праці	до 03 грудня	виконано
7.	Остаточне оформлення розрахунково-пояснювальної записки та графічного матеріалу; подання магістерської роботи на кафедру	до 10 грудня	виконано

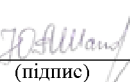
Здобувач


(підпис)

Гусєва К.Г.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи


(підпис)

Шаповалов Ю.О.

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Гусєва К.Г. Розробка системи енергетичного менеджменту для житлового комплексу в м. Херсоні.

Кваліфікаційна робота на здобуття кваліфікації магістр за спеціальністю 144 – «Теплоенергетика» (освітньо-професійна програма: «Енергетичний менеджмент»). Херсонський навчально-науковий інститут Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, Херсон, 2024 р.

В роботі проведено аналіз ефективності впровадження системи енергетичного менеджменту при експлуатації житлового комплексу для підвищення ефективності використання енергоресурсів. Розглянуто та реалізовано технічне рішення для вдосконалення системи опалення житлового комплексу шляхом застосування теплового насосу у комбінації з роботою газового котла з урахуванням впливу зміни температури зовнішнього повітря та режимів споживання теплоти споживачами протягом доби. В роботі було отримано емпіричні залежності коефіцієнта ефективності теплового насосу для розрахунку системи опалення в залежності від значень початкової температури теплоносія на вході та температури зовнішнього повітря. Визначено характеристики системи опалення для запропонованого схемного рішення при різних температурах теплоносія. Представлена оцінка фінансової ефективності розробленого рішення. Зокрема, встановлено, що економія коштів від впровадження схемного рішення комбінованого застосування газових котлів та теплових насосів (із урахуванням витрати коштів на живлення теплових насосів) складе 176,0–200,7 тис. грн (4,8–5,5 тис. дол. США).

Ключові слова: система енергетичного менеджменту, система тепlopостачання, тепловий насос, низькотемпературні джерела енергії.

ABSTRACT

Huseva K.H. Development of an Energy Management System for a Residential Complex in Kherson.

Master's thesis for obtaining a master's degree in specialty 144 – "Heat Power Engineering" (educational program: "Energy Management"). Kherson Educational-Scientific Institute of Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Kherson, 2024.

The study analyzes the efficiency of implementing an energy management system in the operation of a residential complex to improve the utilization of energy resources. A technical solution was considered and implemented to enhance the heating system of the residential complex by integrating a heat pump with a gas boiler. This solution takes into account the impact of outdoor air temperature fluctuations and the heat consumption patterns of users throughout the day.

Empirical dependencies of the heat pump's coefficient of performance (COP) were derived to calculate the heating system's parameters based on the initial temperature of the heat carrier at the inlet and the outdoor air temperature. The heating system's characteristics for the proposed schematic solution were determined under different heat carrier temperature conditions.

A financial efficiency assessment of the developed solution was conducted. Notably, it was found that the cost savings from implementing the combined use of gas boilers and heat pumps (considering the energy costs for operating the heat pumps) would amount to 176,000–200,700 UAH (4,800–5,500 USD).

Key words: energy management system, heat supply system, heat pump, low-temperature energy sources.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ.....	8
ВСТУП	9
1. ЗАГАЛЬНИЙ РОЗДІЛ	12
1.1. Аналіз сучасного стану системи енергетичного менеджменту, особливості структури та функцій СЕнМ.	12
1.2. Основні нормативно-правові документи для забезпечення систем енергетичного менеджменту.	21
1.3. Коротка характеристика об'єкта дослідження.	24
1.4. Постановка мети та завдань дослідження.	32
1.5. Висновки по розділу 1.	33
2. ТЕОРЕТИЧНИЙ РОЗДІЛ	35
2.1. Обґрунтування необхідності впровадження систем енергетичного менеджменту.	35
2.2. Поетапні кроки розробки системи енергетичного менеджменту для житлового комплексу.	36
2.3. Основні методи дослідження та моніторингу споживання теплової та електричної енергії.	40
2.4. Висновки по розділу 2.	47
3. РОЗРАХУНКОВИЙ РОЗДІЛ	49
3.1. Аналіз метеорологічних даних.	49
3.2. Дослідження енергетичного потенціалу котельні для житлового комплексу.	51
3.3. Визначення заходів щодо енергозбереження.	56
3.4. Розробка альтернативного технічного рішення системи теплопостачання.	56
3.5. Висновки по розділу 3.	59
4. ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ	61

4.1. Моделювання характеристик системи теплопостачання житлового комплексу в погодозалежному режимі.....	61
4.2. Оцінка економічної ефективності застосування нового схемного рішення по місяцях за опалувальний період.	74
4.3. Висновки по розділу 4.....	78
РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ	80
5.1. Заходи з охорони праці при експлуатації та монтажі теплових насосів.	80
5.2. Аспекти збереження екології.	86
5.3. Висновки до розділу 5.....	87
ВИСНОВКИ.....	89
Література	90

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ

COP – coefficient of performance;
SCADA – Supervisory Control And Data Acquisition;
ВДЕ – відновлювані джерела енергії;
ВОВГ – вузол обліку витрати газу;
ГВП – гаряче водопостачання;
ДБН – Державні будівельні норми;
ДСТУ – Державний стандарт України;
ІТП – індивідуальний тепловий пункт;
ЖБК – житлово-будівельний кооператив;
КВПіА -контрольно-вимірювальні прилади і автоматика;
ККД – коефіцієнт корисної дії;
МЕР (MERP) - проект «Муніципальна енергетична реформа в Україні»;
НС – насосна станція;
НПД – Національний план дій;
ОСББ – Об'єднання співвласників багатоквартирних будинків;
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 – шафний газорегулюючий пункт;
ЦТП – центральний тепловий пункт.

ВСТУП

Актуальність теми. У всьому світі, питання енергозбереження стає дедалі актуальнішим. Це не лише економічна вигода для споживачів та зменшення навантаження на тепло- та електромережі, а також, що надзвичайно важливо, збереження довкілля для наших нащадків. Енергозбереження передбачає не відмову від благ цивілізації чи обмеження власних потреб, а шлях раціонального використання енергоресурсів, отримання більшого обсягу корисної роботи приладів та устаткування за рахунок тієї ж кількості енергії.

Аналізуючи динаміку підвищення вартості на енергоресурси, слід зазначити, що темпи зростання вартості електроенергії значно нижчі, ніж природного газу та нафти. Враховуючи той факт, що в теплових насосах низькопотенційна природна енергія похідних енергоносіїв перетворюється в енергію більш високого температурного потенціалу, придатну для подальшого практичного використання (на 1 кВт витраченої електричної енергії отримують 3–4 та більше кВт генерованої теплової енергії), отримуються передумови для використання електричної енергії в якісному забезпеченні теплом житлових об'єктів. Таким чином, застосування теплових насосів, живлення яких відбувається за рахунок електроенергії, у комбінації із газовим опаленням забезпечить ефективне споживання паливно-енергетичних ресурсів в житлово-комунальній енергетиці.

Також, у свою чергу, впровадження системи енергетичного менеджменту, основною метою якої є підвищення енергоефективності за допомогою побудови чіткої моделі взаємодії та стратегії з розробки заходів з енергозбереження, надає шляхи для збереження паливно-енергетичних та енергоресурсів при експлуатації будівель та споруд.

Метою дослідження є розробка системи енергетичного менеджменту житлового комплексу для підвищення ефективності роботи мережі системи теплопостачання.

Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати такі задачі:

- 1) провести аналіз основних складових та функцій системи енергетичного менеджменту та визначити шляхи для ефективного функціонування СЕНМ;
- 2) розробити методику впровадження системи енергетичного менеджменту для житлового комплексу з підвищенням ефективності роботи мережі системи теплопостачання;
- 3) провести аналіз споживання енергоресурсів та запропонувати рекомендації щодо заходів з енергозбереження для системи теплопостачання житлового комплексу;
- 4) провести моделювання основних характеристик системи теплопостачання з метою визначення витрат енергоресурсів при застосуванні нових схемних рішень;
- 5) проаналізувати економічну ефективність розроблених заходів із енергозбереження та визначити подальші шляхи для вдосконалення системи енергетичного менеджменту житлового комплексу.

Об'єктом дослідження є заходи системи енергетичного менеджменту житлового комплексу з підвищенням ефективності роботи мережі системи теплопостачання.

Предметом дослідження є характеристики ефективності заходів системи енергетичного менеджменту житлового комплексу та мережі системи теплопостачання при комбінованій роботі газового котла і теплового насосу.

Методи дослідження. Проведено аналіз літературних джерел та отриманих експериментальних даних, застосовано статистичний метод для обробки експериментальних даних та порівняльно-розрахунковий для отримання даних щодо енергетичної ефективності запропонованого рішення.

Наукова новизна одержаних результатів.

Встановлено, що розроблена система енергетичного менеджменту житлового комплексу для підвищення ефективності роботи мережі системи теплопостачання шляхом комбінованого використання теплового насоса та

газових котлів забезпечує зменшення споживання газу до 56 % протягом одного опалювального періоду, що дозволяє отримати економію коштів, з урахуванням витрат електроенергії на тепловий насос, яка складає 176,0–200,7 тис. грн (4,8–5,5 тис. дол. США).

Практичне значення одержаних результатів. Запропоноване технічне рішення комбінованої системи опалення забезпечує скорочення споживання паливно-енергетичних ресурсів в муніципальній (житлово-комунальній) енергетиці.

Структура та обсяг магістерської роботи. Робота складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел з 44 найменування. Загальний обсяг роботи складає 95 сторінок. Основна частина магістерської роботи викладена на 80 сторінках тексту, містить 43 рисунки та 3 таблиці.

1. ЗАГАЛЬНИЙ РОЗДІЛ

1.1. Аналіз сучасного стану системи енергетичного менеджменту, особливості структури та функцій СЕнМ.

Сталий розвиток суспільства передбачає поліпшення якості життя населення різних країн та його подальше зростання, спираючись на нові досягнення науки. Сучасні умови вимагають від усіх скорочувати споживання ресурсів, переходити на інші види матеріалів та джерела енергії, впроваджувати ресурсоефективні та більш чисті технології, зменшуючи навантаження на довкілля та здоров'я людини [1]. Відповідно до прогнозування деяких вчених (рис. 1.1.), енергозабезпечення світового ринку паливно-енергетичними ресурсами (ПЕР) не перевищує 30–200 років [2].

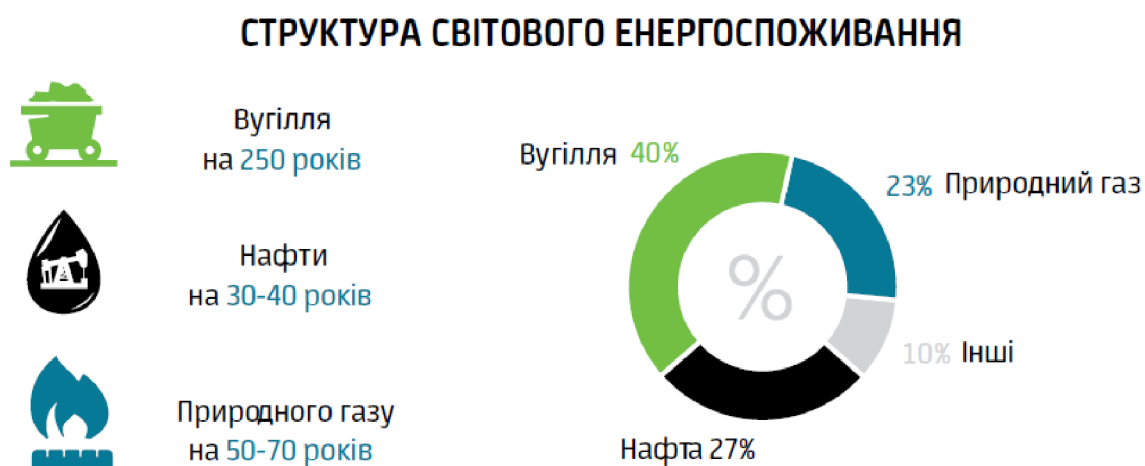


Рис. 1.1. Структура світового енергоспоживання [2].

При цьому особлива увага у підвищенні енергетичного потенціалу держав за рахунок зменшення енергетичних витрат приділяється саме будівельній галузі. Будівельна галузь загалом поглинає понад третину світових природних ресурсів. Будівлі споживають 40% виробленої у світі енергії, 12% прісної води, відповідають за 40% глобальних викидів парникових газів та 40% сміття на звалищах. 90% енергії та 80% викидів газів

будівлями припадає на період їх експлуатації [2]. Тимчасом світовий фонд будівель внаслідок прогнозованого збільшення населення планети може зрости до 2050 року на 90% [1, 2].

Наявність суттєвого потенціалу енергозбереження в українській економіці – шанс для модернізаційного та інноваційного післявоєнного розвитку. Для України енергоефективність сама по собі стала найважливішим ресурсом і гарантом формування необхідного потенціалу для подальшого розвитку держави і суспільства. Можна стверджувати, що для нашої країни енергоефективність – це не лише енергозбереження, а й оптимізація співвідношення ефекту (корисності, якості, вартості, кількості вироблених продуктів, якості життя, соціального комфорту) та енергетичних витрат, яких вимагає вироблене благо. Потенціал підвищення енергоефективності необхідно розглядати як перспективний ринок збуту, який має дати імпульс розвитку українських технологій у сфері енергозбереження та енергоефективності [3].

У свою чергу, ефективне використання системи енергетичного менеджменту (СЕНМ) допоможе суспільству раціонально керувати своїм енергоспоживанням. Це призведе до:

- зниження витрат;
- зниження впливу на довкілля;
- підвищення конкурентоспроможності.

Метою створення СЕНМ є підвищення ефективності використання ПЕР шляхом здійснення обліку, контролю, планування, нормування та аналізу витрат ПЕР, проведення внутрішніх енергоаудитів, впровадження енергозберігаючих заходів, здійснення моніторингу та коригувальних дій у сфері енергозбереження, а також інформування, стимулювання та навчання персоналу виробничої системи у сфері енергозбереження [4, 5].

Основні задачі СЕНМ [6, 7]:

- Оптимізація структури споживання енергоресурсів.

- Підвищення ефективності використання всіх видів енергоресурсів.
- Покращення якості надання енергетичних послуг та можливостей для їх регулювання.
- Налагодження енергоефективної експлуатації будівель.
- Скорочення викидів парникових газів, розвиток екологічно орієнтованої економіки та підвищення якості життя.
- Формування ощадної поведінки у споживачів енергетичних послуг.
- Впровадження системи стимулювання ощадного використання енергоресурсів на всіх рівнях управління міста.
- Скорочення використання бюджетних коштів на придбання енергоресурсів.
- Залучення інвестицій у процеси технологічної та енергоефективної модернізації інфраструктури міста.

Для успішного виконання зазначених завдань необхідно забезпечити ефективне функціонування наступних підсистем:

- моніторинг енергоспоживання;
- планування впровадження заходів з підвищення ефективності енергоспоживання;
- залучення джерел фінансування заходів з підвищення ефективності енергоспоживання;
- контроль за ефективністю впровадження заходів з енергозбереження;
- навчання персоналу структурних підрозділів;
- мотивація ощадного енергоспоживання.

СЕНМ охоплює такі функції: облік та звітність, контроль, аналіз, регулювання (коригувальні дії), планування, нормування, організацію.

Функція обліку та звітності передбачає:

- збір первинних даних (сигналів, повідомлень, документів тощо) про витрати ПЕР об'єктом ЖКГ і його підрозділами та випуск продукції;
- реєстрацію первинних даних про витрати ПЕР об'єктом ЖКГ та його підрозділами;
- формування структури витрат ПЕР;
- формування періодичних звітів про витрати ПЕР тощо.

Функція контролю передбачає виконання дій щодо контролю:

- наявності та виконання програми енергозбереження;
- виконання завдань СЕНМ;
- витрат ПЕР;
- якості проведення внутрішнього аудиту СЕНМ;
- відповідності порядку укладання угод на проведення зовнішнього енергоаудиту нормативно-правовим актам;
- відповідності стану контрольно-вимірювального обладнання вимогам СЕНМ;
- проведення навчання персоналу в сфері енергозбереження;
- за інформуванням керівництва, служб та працівників об'єкта ЖКГ про стан споживання ПЕР об'єктом ЖКГ та його підрозділами тощо.

Функція аналізування передбачає виконання дій щодо аналізу:

- наявного стану споживання ПЕР;
- потенціалу енергозбереження;
- відповідності функціонування СЕНМ встановленим критеріям;
- балансів ПЕР;
- відповідності фактичних питомих витрат ПЕР нормам питомих витрат ПЕР;
- частки фінансових витрат ПЕР у загальній собівартості продукції;
- впровадження енергозберігаючих заходів та визначення їхньої пріоритетності;
- програм стимулювання персоналу об'єкту ЖКГ за підвищення ефективності використання ПЕР та функціонування СЕНМ;

- результатів навчання персоналу об'єкту ЖКГ у сфері енергозбереження;

- функціонування системи обліку та контролю ПЕР та її удосконалення тощо.

Функція регулювання передбачає здійснення коригувальних дій щодо:

- режимів споживання ПЕР;
- зменшення питомих витрат ПЕР;
- упровадження енергозберігаючих заходів;
- удосконалення СЕнМ;

- удосконалення управління документообігом у сфері енергозбереження;

- підвищення кваліфікації персоналу об'єкта ЖКГ у сфері енергозбереження тощо.

Функція планування передбачає виконання дій щодо:

- створення програми енергозбереження об'єкта ЖКГ;
- удосконалення організаційної структури служби енергоменеджменту;
- проведення зовнішнього та внутрішнього енергоаудиту;
- перспективного планування витрат ПЕР;
- інформаційного забезпечення СЕнМ;
- розробки та вдосконалення методичного та матеріально-технічного

забезпечення СЕнМ;

- перевірки стану засобів вимірювальної техніки тощо.

Функція нормування передбачає виконання дій щодо:

- визначення складу технологічних процесів та операцій щодо виготовлення кожного виду продукції (роботи, послуги), під час виконання яких використовують ПЕР;

- визначення одиниці виміру продукції (роботи, послуги);

- визначення складу основних цехів, ділянок, агрегатів, споживання ПЕР якими повністю відноситься на вироблення конкретного виду продукції;

- визначення складу основних цехів, ділянок, агрегатів, споживання ПЕР якими розподіляють пропорційно послуг, наданих на виготовлення декількох видів продукції (робіт, послуг);
- визначення витрат та втрат ПЕР споживачів основних цехів, ділянок, агрегатів тощо;
- розрахунку норм питомих витрат ПЕР;
- розроблення внутрішніх нормативних документів об'єкта ЖКГ та методик розрахунку норм питомих витрат ПЕР;
- визначення нормативної кількості працівників СЕНМ тощо.

Функція організування передбачає виконання дій щодо:

- забезпечення ефективності функціонування СЕНМ;
- організації навчання персоналу об'єкта ЖКГ у сфері енергозбереження;
- організації стимулювання працівників щодо підвищення ефективності використання ПЕР та функціонування СЕНМ;
- роботи з громадськими організаціями та державними органами управління в сфері енергозбереження тощо.

Інформаційні системи в структурі енергетичного менеджменту.

Функціонування муніципальної системи енергетичного менеджменту базується на використанні великої кількості інформації, включно показі лічильників ПЕР. Необхідна щоденна обробка даної інформації за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення (ПЗ), яке повинно виконувати наступні основні функції:

- збір інформації та формування баз даних показів лічильників, показників енергоефективності, якості енергопостачання, нормативних показників тощо;
- збір інформації та формування баз даних документів, як то форми звітності, накази, рішення тощо;
- моніторинг показників енергоефективності;

- моніторинг викидів CO₂;
- автоматизація процесу документообігу між всіма ланками МСЕНМ;
- автоматизація розрахунків при проведенні енергетичних аудитів;
- візуалізація накопичених результатів;
- інші функції, що виникають в процесі функціонування МСЕНМ.

Умовно всі вказані функції можна об'єднати у чотири групи. Для кожної з груп існує певна кількість ПЗ (рис. 1.2).



Рис. 1.2. Структура ПЗ в МСЕНМ.

Поняття енергоаудиту.

Енергетичний аудит – це оцінка енергетичних характеристик об'єкта аудиту. При цьому аналізуються енергетичні потоки в будівлі, процесі чи системі, щоб зменшити кількість енергії, що надходить у систему, зберігаючи або покращуючи технологічні умови, комфорт, здоров'я та безпеку людини.

В провідних країнах світу діяльність у сфері енергетичного аудиту будівель та споруд регламентується міжнародним стандартом ISO 50002:2014, який вже гармонізовано в Україні у вигляді національного стандарту ДСТУ

ISO 50002:2020 (ISO 50002:2014, IDT) «Енергетичні аудити. Вимоги та настанова щодо їх проведення» [8].

Цей стандарт базується на передовій практиці енергетичного аудиту. Він охоплює мінімальний набір вимог до етапів розроблення технічного завдання, виконання робіт, затвердження результатів та завершення робіт з енергоаудиту. Рівень деталізації, тривалість енергоаудиту та його вартість визначається типом аудиту (табл. 1.1).

Таблиця 1.1. Порівняльна таблиця типів енергоаудиту за точністю результатів, вартістю робіт та їх тривалістю.

Тип аудиту	Масштаб підприємства	Результати	Вартість аудиту	Тривалість аудиту
Тип 1	Мікро- або мале	Організаційні та типові заходи з енергоефективності з укрупненою оцінкою їх ефекту. Низька точність оцінки, що базується виключно на спостереженнях та статистичних даних	Низька	Низька 1–5 днів
Тип 2	Середнє	Організаційні, типові та специфічні заходи з енергоефективності зі стандартною техніко-економічною оцінкою їх ефекту. Середня точність оцінки, що базується як на спостереженнях та статистичних даних, так і на проведенні окремих видів вимірювань	Середня або висока	Середня або висока 3–6 місяців (для підприємств без сезонної залежності) 6–12 місяців (для підприємств із сезонною залежністю)
Тип 3	Велике	Розроблення проєктів з енергозбереження з технічною та фінансовою оцінкою їх ефекту. Найвища точність оцінки, що базується на проведенні значної кількості вимірювань, моделювань тощо	Середня або висока	Середня або висока До 6 місяців (для проєктів з енергозбереження без сезонної залежності) До 12 місяців (для проєктів з енергозбереження з сезонною залежністю)

Згідно з ISO 50002:

Відповідний рівень деталізації, необхідної для проведення аудиту, залежить від об'єкта аудиту, видів використання енергії та споживання енергії, а також від ресурсів, доступних для аудиту. На етапі попередньої підготовки до проведення аудиту замовнику та виконавцю слід встановити

наявність даних для енергоаудиту та визначити, чи достатньо цих даних для проведення аудиту більш детального типу. Якщо потрібно провести додаткове вимірювання, замовнику та виконавцю слід, як правило, узгодити ступінь необхідних вимірювань, перш ніж приступати до аудиту. При проведенні аудитів 2-го типу або вище замовнику та виконавцю доцільно узгодити поточний або базовий тариф, який буде використано для фінансового аналізу.

Крім стандарту ДСТУ ISO 50002:2020 (ISO 50002:2014, IDT), в якому описано загальні принципи енергоаудиту, слід користуватися відповідними методиками, які детально описують послідовність виконання певного етапу робіт чи набору завдань під час проведення енергоаудиту. Це можуть бути як типові методики (наприклад, Типова методика «Загальні вимоги до організації та проведення енергетичного аудиту»), так і галузеві, що, на відміну від типових, враховують специфіку конкретної галузі господарства (наприклад ДСТУ Б В.2.2-39:2016 Методи та етапи проведення енергетичного аудиту будівель [8]; Методика проведення енергетичного аудиту об'єктів ЖКГ).

Для досвідчених енергоаудиторських компаній притаманна наявність власних корпоративних методик проведення енергоаудиту, які базуються на вимогах чинного законодавства, міжнародного стандарту ISO 50002:2014, а також тих вимогах, що діють в самій компанії. Сюди відносяться, наприклад:

1) Методики проведення вимірювань:

- показників якості електроенергії;
- кількості спожитої електроенергії;
- витрат палива теплогенерувальною установкою;
- витрати води в напірних і безнапірних потоках;
- показників якості повітря в приміщеннях;
- повітрообміну в приміщеннях;
- освітленості в приміщеннях;
- температури тепловипромінюючих поверхонь та їх тепловізійного обстеження;
- електричних параметрів електроустановок тощо.

2) Методики візуального обстеження:

- стану огорожувальних конструкцій будівель та споруд;
- насосних станцій та гідротехнічних споруд;
- інженерних систем будівлі;
- теплогенерувальних установок;
- теплотрас тощо.

3) Методики розрахунку, оцінки та/або аналізу:

- складових балансу споживання палива, електро- та теплоенергії в будівлі;
- показників енергоефективності окремих енергоспоживаючих установок, технологічних ліній, процесів та будівельного комплексу в цілому;
- потенціалу енергозбереження окремих енергоспоживаючих установок в цілому тощо.

1.2. Основні нормативно-правові документи для забезпечення систем енергетичного менеджменту.

Станом на травень 2020 року в Україні впроваджено понад 100 нормативно-правових актів з енергоефективності та відповідних стандартів, нормативно-методичних документів. Створено структуру державного управління та контролю у сфері енергозбереження, запроваджено систему нормування паливно-енергетичних ресурсів, енергетичного аудиту, енергоменеджменту, державної експертизи з енергозбереження. Діють відповідні санкції за порушення законодавства у сфері енергозбереження. Нагальною вимогою сьогодення є продовження адаптації вітчизняних стандартів з енергозбереження та енергоефективності до міжнародних та європейських стандартів.

Метою національного плану є формування та визначення способів реалізації ефективної державної політики, спрямованої на збільшення кількості енергонезалежних будівель в Україні, у тому числі на забезпечення

енергетичної ефективності будівель та на збільшення застосування відновлюваних джерел енергії, зокрема через забезпечення вдосконалення нормативно-правового та технічного регулювання питання визначення вимог до енергонезалежних будівель, забезпечення організаційної та фінансової спроможності власників будівель усіх форм власності, зокрема спроможності органів державної влади та органів місцевого самоврядування забезпечити дотримання таких вимог щодо всіх об'єктів будівництва та будівель, у яких здійснюється реконструкція.

До національних стандартів, що регламентують діяльність у сфері енергетичного менеджменту України, належать [17-26]:

ДСТУ 4472:2005 Енергозбереження. Системи енергетичного менеджменту. Загальні вимоги;

ДСТУ 4715:2007 Енергозбереження. Системи енергетичного менеджменту промислових підприємств. Склад та зміст робіт на стадіях розроблення та впровадження;

ДСТУ 5077:2008 Енергозбереження. Системи енергетичного менеджменту промислових підприємств. Перевірка та контроль ефективності функціонування;

ДСТУ 4713:2007 Енергозбереження. Енергетичний аудит промислових підприємств. Порядок проведення та вимоги до організації робіт;

ДСТУ 4714:2007 Енергозбереження. Паливно-енергетичні баланси промислових підприємств. Методика побудови та аналізу.

В ДСТУ 4472:2005 та ДСТУ 4715:2007 для ефективного функціонування СЕнМ запропоновано побудувати концепцію її розробки, впровадження та функціонування на базі управлінських принципів, закладених у комплексі міжнародних стандартів ДСТУ ISO 9000, ДСТУ ISO 14000, а також принципів автоматизації управління процесами. Ця обставина пояснюється тим, що СЕнМ передбачає не тільки систему управління персоналом, а й комплекс технічних засобів для здійснення обліку, контролю, аналізу і планування рівня ефективності енерговикористання.

У цьому зв'язку процеси розробки, впровадження та функціонування СЕнМ мають ґрунтуватися на принципах системності, послідовності, регулярності, відкритості, незалежності, документованості, обґрунтованості, достовірності.

Послідовність розробки і впровадження СЕнМ згідно з ДСТУ 4472:2005 пропонується розглядати як низку характерних етапів, виконання яких є обов'язковим для ефективного функціонування СЕнМ. Серед них: розробка політики та програми енергозбереження; розробка програми (проекту) впровадження СЕнМ; формування служби енергоменеджменту; впровадження комплексу енергетичного моніторингу; створення комплексу внутрішніх стандартів, що регламентують функціонування СЕнМ; розробка програм мотивації, інформування та навчання персоналу в сфері енергозбереження; навчання персоналу в сфері енергозбереження; проведення аудиту СЕнМ; проведення сертифікації СЕнМ.

Ефективне виконання комплексу робіт з розробки та впровадження СЕнМ неможливо без наявності відповідного організаційного, технічного, програмного, інформаційного, лінгвістичного, математичного, ресурсного та правового забезпечення. При цьому не слід розглядати процес впровадження СЕнМ як разову дію, що завершується рішенням певної сукупності завдань. Це послідовний, постійно діючий процес оптимізації всіх сторін діяльності як керованої, так і керуючої системи в сфері ефективності енерговикористання. Для ефективного виконання цих робіт насамперед необхідно домогтися підтримки з боку вищого адміністративного управлінського персоналу (керівництва).

Будь-яка СЕнМ потребує проведення періодичної оцінки рівня ефективності її функціонування. Для цього в ДСТУ 5077:2008 запропоновано критерії оцінки, а також методика оцінки ефективності функціонування СЕнМ. Визначення критеріїв оцінки СЕнМ та допустимих меж зміни показників стану СЕнМ уможливорює приймати своєчасні та ефективні заходи щодо підвищення рівня ефективності функціонування СЕнМ. Для оцінки

рівня ефективності функціонування СЕНМ пропонується використовувати набір критеріїв оцінки (профіль) ефективності функціонування СЕНМ, який охоплює чотири групи критеріїв: критерії організованості СЕНМ; критерії забезпеченості СЕНМ; критерії спостереженості СЕНМ; критерії коригування СЕНМ [37].

1.3. Коротка характеристика об'єкта дослідження.

Об'єктом дослідження є система теплопостачання для жилого комплексу «Мрія», 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 x 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. 1.3.

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

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.

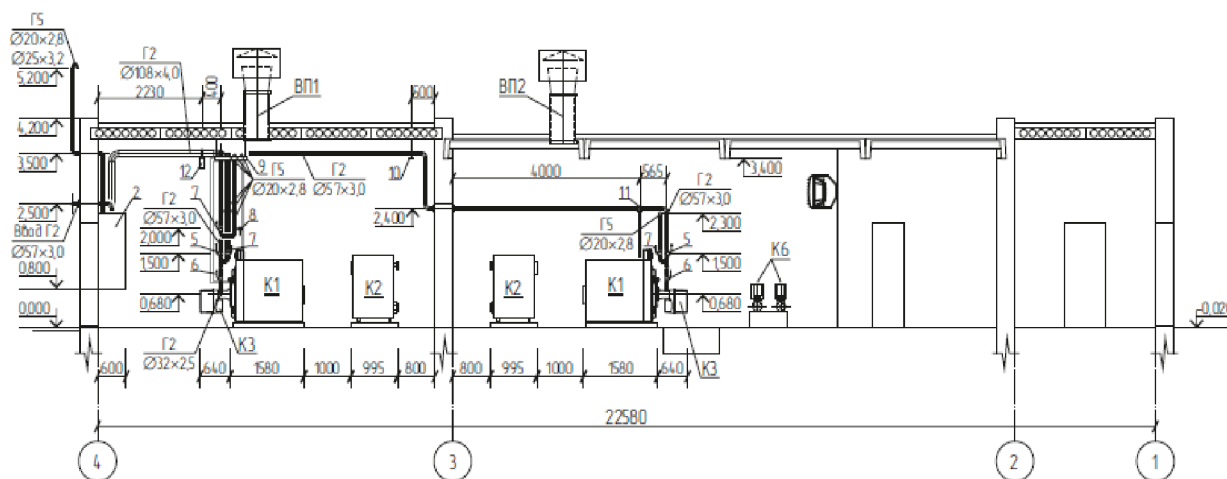


Рис. 1.3. Загальне розташування обладнання котельні базової схеми.

Комерційний облік витрат газу котельні здійснюється ультразвуковим лічильником з коректором витрати газу за тиском і температурою, які також розташовані в ящику ШРП. Основні техніко-економічні показники по котельні наведені в табл. 1.2.

Табл. 1.2. Техніко-економічна характеристика котельні.

№ п/п	Найменування	Од. вим.	Значення
1.	Найменування об'єкта, місце його розміщення	—	Котельні по вул. Адмірала Макарова, 161 в м. Херсоні
2.	Ступінь вогнестійкості будівлі котельні	—	II
3.	Загальна площа котельні	м ²	126
4.	Будівельний об'єм котельні	м ³	481
5.	Розрахункова продуктивність котельні	МВт	0,7
6.	Встановлена продуктивність котельні	МВт	1,05
7.	Річне виробництво теплової енергії	тис. ГДж	4,93
8.	Річний відпуск теплової енергії	тис. ГДж	4,73
9.	Річне число годин використання встановленої продуктивності	год	1876
10.	Річна витрата палива:		
11.	- натурального	тис. м ³	147
12.	- умовного	т у п	168
13.	Встановлена потужність струмоприймачів	кВт	12,5
14.	Річні витрати електроенергії	тис. кВт·год	41
15.	Річні витрати води на підживлення системи теплопостачання	тис. м ³	1,34
16.	Питома витрата умовного палива на 1 ГДж відпущеного тепла	т у п ГДж	0,036
17.	Чисельність персоналу	люди	Без постійної присутності обслуговуючого персоналу

Котельня працює в автоматичному режимі без постійної присутності обслуговуючого персоналу.

У котельні встановлено малозумне 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. 1.4), 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. 1.4. 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 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.

Паливом для котлів служить природний газ середнього тиску, теплотворною здатністю 8000 ккал/год.

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

Теплоносій з котельні подається по існуючим 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.

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

Приєднання мережевого контура до котлового передбачається по незалежній схемі через два розбірних пластинчатих теплообмінника Danfoss S19A-IG16-52-TLA.

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

Принцип роботи теплового насоса «Повітря-вода».

Досі енергія, що використовується для обігріву приміщень для побутових потреб у житлових будівлях, становила значну частку від загального споживання енергії. Ця енергія майже повністю виробляється з використанням викопного палива, що означає високий рівень забруднення атмосфери та шкідливий вплив на довкілля.

В теплових насосах низькопотенціальна (низької температури) природна енергія похідних енергоносіїв перетворюється в енергію більш високого температурного потенціалу, придатну для подальшого практичного використання. Процеси перетворення енергії на теплових насосах відбуваються з високою енергетичною ефективністю. Так, у парокомпресійному тепловому насосі на 1 кВт·год витраченої електричної енергії отримують 3–4 та більше кВт·год генерованої теплової енергії [39]. При цьому теплові насоси є екологічно чистими технологічними установками, оскільки в них не відбувається викидів холодогента і забруднення навколишнього природного середовища при передачі теплової енергії, відсутні процеси спалювання, що відбуваються зі значними викидами вуглекислого газу та інших сполук, що чинять шкідливий вплив на екологію і здоров'я людей.

Підвищення екологічної обізнаності, увага до використання відновлюваних джерел та прагнення скоротити інвестиції та експлуатаційні

витрати, а також необхідність дотримання все більш суворого законодавства є факторами, які відіграють важливу роль у визначенні вартості нерухомості, а також у можливостях сучасного розвитку.

Теплові насоси, що використовують тепло землі або повітря, в даний час є найкращим рішенням для опалення приміщень і виробництва гарячої води для побутових потреб.

Тепловий насос «повітря-вода» – один із типів теплових насосів, які забезпечують високоефективне опалення приміщення. Тепловий насос «повітря-вода» – це інноваційна система рециркуляції енергії, яка зменшує навантаження на навколишнє середовище, при цьому, повторно використовує тепло, яке і так виробляється в повсякденному житті.

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. 1.5). Таким чином, система опалення стає набагато ефективнішою.

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.

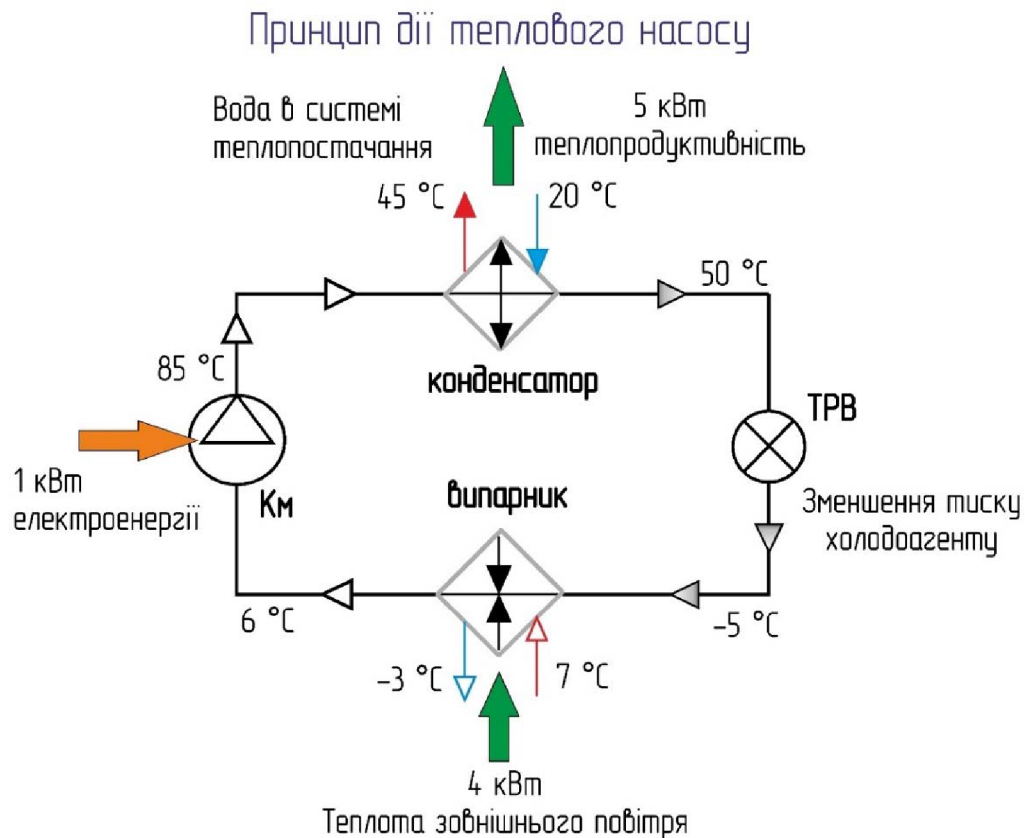


Рис. 1.5. Принцип дії теплового насосу.

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 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. 1.6).

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. 1.7), 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.

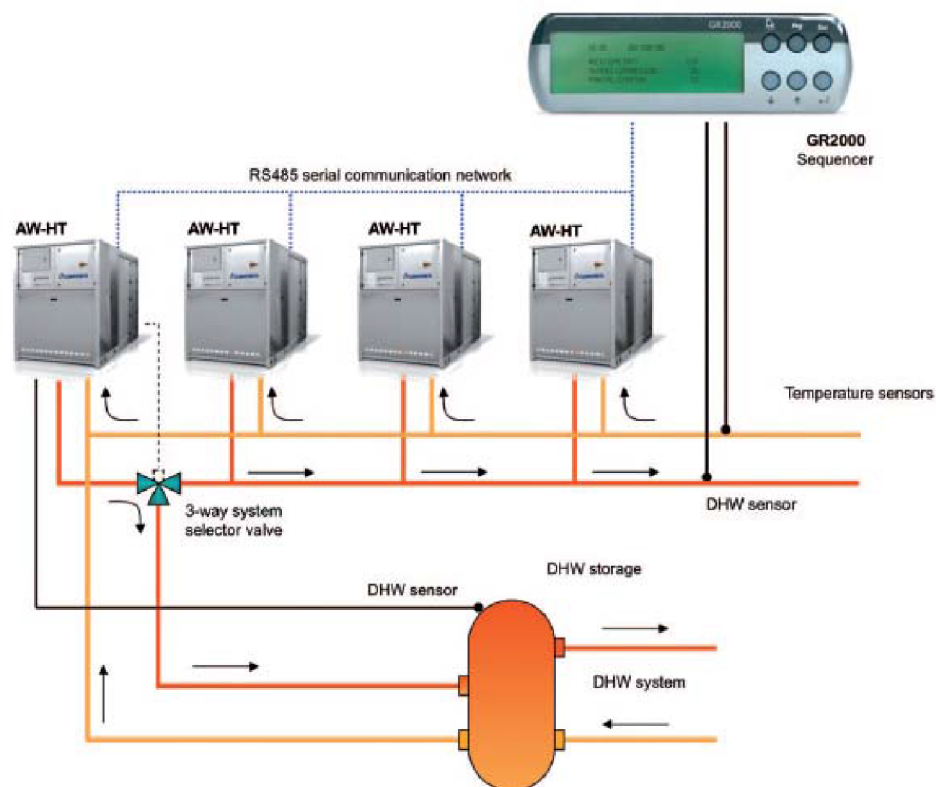


Рис. 1.6. Схема з модульною конфігурацією установки теплових насосів.



Рис. 1.7. 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.

1.4. Постановка мети та завдань дослідження.

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

Метою дослідження є розробка системи енергетичного менеджменту житлового комплексу для підвищення ефективності роботи мережі системи теплопостачання.

Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати такі задачі:

- 1) провести аналіз основних складових та функцій системи енергетичного менеджменту та визначити шляхи для ефективного функціонування СЕНМ;
- 2) розробити методику впровадження системи енергетичного менеджменту для житлового комплексу з підвищенням ефективності роботи мережі системи тепlopостачання;
- 3) провести аналіз споживання енергоресурсів та запропонувати рекомендації щодо заходів з енергозбереження для системи тепlopостачання житлового комплексу;
- 4) провести моделювання основних характеристик системи тепlopостачання з метою визначення витрат енергоресурсів при застосуванні нових схемних рішень;
- 5) проаналізувати економічну ефективність розроблених заходів із енергозбереження та визначити подальші шляхи для вдосконалення системи енергетичного менеджменту житлового комплексу.

Об'єктом дослідження є заходи системи енергетичного менеджменту житлового комплексу з підвищенням ефективності роботи мережі системи тепlopостачання.

Предметом дослідження є характеристики ефективності заходів системи енергетичного менеджменту житлового комплексу та мережі системи тепlopостачання при комбінованій роботі газового котла і теплового насосу.

1.5. Висновки по розділу 1.

- 1) Аналіз основних складових та функцій системи енергетичного менеджменту визначив шляхи ефективного її функціонування для житлового комплексу при підвищенні ефективності роботи мережі системи тепlopостачання.
- 2) Основні нормативно-правові документи дають підставу для розробки систем енергетичного менеджменту для житлового комплексу.

3) Наведена коротка характеристика об'єкту дослідження жилого комплексу «Мрія» та загальні характеристики обладнання для системи теплопостачання цього житлового комплексу дозволили визначити мету та задачі дослідження.

2. ТЕОРЕТИЧНИЙ РОЗДІЛ

2.1. Обґрунтування необхідності впровадження систем енергетичного менеджменту.

Побудова системи енергетичного менеджменту, основною метою якої є підвищення енергоефективності за допомогою побудови чіткої моделі взаємодії та стратегії з впровадження заходів з енергозбереження є однією з основних сучасних технологій у сфері підвищення енергоефективності будівель та споруд.

Метою створення СЕнМ для житлових будівель є підвищення ефективності використання ПЕР шляхом здійснення обліку, контролю, планування, нормування та аналізу витрат ПЕР, проведення внутрішніх енергоаудитів, впровадження енергозберігаючих заходів, здійснення моніторингу та коригувальних дій у сфері енергозбереження, а також інформування, стимулювання та навчання представників житлового комплексу у сфері енергозбереження.

Для підвищення рівня енергоефективності житлового комплексу є безліч заходів та рекомендацій, наприклад:

- підвищення теплозахисної якості огорожувальних конструкцій, утеплення сходових клітин, дверей і вікон;
- застосування сучасних систем автоматизації роботи котлів та допоміжного обладнання котельні за рахунок комплексної автоматизації технологічного процесу;
- використання економічних систем та приладів освітлення;
- здійснювати модернізацію системи опалення, передусім удосконалення вбудованих теплових пунктів (оснащення будівель сучасними тепловими пунктами з використанням пластинчастих теплообмінників, систем обліку та регулювання енергоспоживання).

Але всі ці заходи можуть мати кращий ефект і бути більш енергозберігаючими, якщо вони будуть частиною системи енергетичного менеджменту. Таким чином, визначено перспективний шлях для підвищення ефективності споживання ПЕР житловим комплексом, який полягає в розробці поетапних кроків створення ефективної СЕнМ.

2.2. Поетапні кроки розробки системи енергетичного менеджменту для житлового комплексу.

Для створення СЕнМ необхідно провести підготовку та пройти певні етапи формування системи. Для цього необхідно провести аналіз поетапного впровадження системи енергетичного менеджменту в умовах житлової будівлі на основі створення Об'єднання співвласників багатоквартирних будинків (ОСББ):

Етап 1. Проінформованість та створення ініціативної групи.

Першочерговим завданням є проінформованість. Мешканці будівлі мають знати та розуміти, що таке система енергетичного менеджменту і навіщо вона потрібна. Саме тому на цьому етапі необхідно проведення зборів з метою донесення інформації про створення ОСББ та початок руху у напрямку впровадження системи енергетичного менеджменту.

Як і кожен уряд, правління ОСББ має формувати чітку стратегію та план дій, але реалізація цієї стратегії можлива лише за участі усіх мешканців будівлі – співвласників.

Стратегічне планування важливе, оскільки дозволяє досягти основних цілей, а саме:

- суспільне узгодження програми розвитку;
- сприяє згуртуванню мешканців будівлі;
- підвищує конкурентну спроможність ОСББ в залучені необхідних ресурсів;
- створює позитивний імідж;

- прагнення до енергонезалежності та комфорту;
- стратегія впровадження системи енергетичного менеджменту дасть змогу людям зрозуміти:
 - яким має бути їх будинок і що вони можуть досягти цього за рахунок співпраці;
 - проінформованості мешканців з проблемними питаннями житлової будівлі та усіма можливими варіантами рішень.

Етап 2. Залучення професійних консультантів.

Досить очевидним є той факт, що без залучення досвідчених фахівців абсолютно неможливо впровадити систему енергоменеджменту. Саме фаховість є основним критерієм вибору, оскільки саме від професійності, наполегливості та чіткого виконання усіх рекомендацій залежить успішність впровадження даної системи.

Етап 3. Підвищення рівня кваліфікації співвласників.

До цього етапу можна віднести проблему з відсутністю якісних знань у сфері енергоефективності. Дану проблему можна вирішити декількома шляхами, як приклад відвідування співвласниками відповідних курсів.

Етап 4. Процес планування.

Етапи процесу планування системи енергетичного менеджменту представлено на рис. 2.1.

В стратегії планування та розвитку системи енергетичного менеджменту житлової будівлі мають бути основні положення, а саме:

- Інформаційна карта будинку (дата забудови, тип будинку, кількість мешканців і т.д.);
- Опис поточного стану та проблему;
- Мета та шляхи вирішення цих проблем;
- Перспектива та бачення майбутнього стану будинку;
- Конкретизація заходів та план дій.



Рис. 2.1. Етапи процесу планування системи енергетичного менеджменту.

Етап 5. Контроль енерговикористання та відповідність стандартам.

Побудова системи обліку енергоресурсів та усіх факторів що впливають на ресурсоспоживання є невід’ємною складовою при впровадженні системи енергетичного менеджменту. Це важливо, оскільки дає змогу контролювати ресурсовикористання, проводити моніторинг та перевірку ефективності від впроваджених у подальшому заходів з енергозбереження.

Основою системи енергетичного менеджменту є цикл Демінга (PDCA) – Плануй(Р) – Дій(Д) – Перевір(С) – Вдосконалюй(А) згідно стандарту ISO50001 [7]. Саме завдяки цьому циклу ОСББ має змогу планувати, виносити на обговорення впровадження тих чи інших заходів, після впровадження перевіряти, чи приносить даний захід ефективність та розглядати варіанти подальшого вдосконалення.

Етап 6. Порядок обговорення та затвердження стратегії розвитку.

Для кінцевого затвердження стратегії розвитку системи енергетичного менеджменту житлової будівлі за участі ОСББ необхідно проведення енергоаудиту. Енергоаудит є першим кроком до енергоефективності, тому першочерговим завданням буде проведення зборів співвласників будинку з метою збору пропозицій, ідей та обговорень ключових питань. А також ознайомлення мешканців будинку з планом дій та врахування пропозицій щодо подальших дій.

Етап 7. Затвердження стратегії та загальні збори ОСББ.

Для початку затвердження стратегії, необхідне проведення загальних зборів та консультація регіонального експерта в регіоні, оскільки стратегія впровадження системи енергетичного менеджменту є основним напрямком розвитку ОСББ.

Етап 8. Забезпечення безперервності функціонування циклу енергетичного менеджменту.

Наприкінці кожного звітного періоду вживаються заходи з матеріального заохочення за енергозбереження відповідальних осіб. Наявність прозорої системи стимулювання є однією з головних умов забезпечення безперервності функціонування циклу системи енергоменеджменту.

Слід зазначити, що у випадку, якщо не всю економію витрат на ПЕР, особливо на початковому етапі, спрямовувати на матеріальне заохочення, то з'явиться можливість створення фонду для подальших кроків до більшої енергоефективності вже із залученням професійних енергоаудиторів та інвестицій на впровадження енергоефективних проектів. Такий підхід дасть змогу «знайти» кошти на енергоефективність навіть там, де їх завжди не вистачає.

Запропоновані кроки впровадження системи енергетичного менеджменту для житлового комплексу дозволять більш ефективно здійснювати управління енергоспоживанням та знизити грошові витрати на оплату енергоресурсів.

2.3. Основні методи дослідження та моніторингу споживання теплової та електричної енергії.

Енергетичний моніторинг є одним із основних інструментів енергоменеджменту і призначений для контролю за споживанням енергетичних ресурсів. Метою запровадження моніторингу споживання енергетичних ресурсів є оцінка ефективності використання енергоносіїв, а також пошуку можливостей зниження витрат на енергетичні ресурси.

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 порівнянних 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].

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

де n – фактична кількість градусодіб;

$T_{\text{пн}}^{\text{р}}$ – 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:

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

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

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

D – кількість опалювальних діб 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.

Отримання та обробка інформації:

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

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").

Оперативний моніторинг – комплекс заходів, спрямований на отримання, створення бази даних з теплоспоживання об'єкта та їх обробку, для виявлення випадків відхилення споживання. Проведення оперативного моніторингу дає змогу уникнути перевитрат теплової енергії, пов'язаних з аваріями або неправильним налаштуванням теплорегулюючого обладнання, та має бути обов'язковою складовою системи енергетичного менеджменту.

Найбільш ефективною методикою аналізу енергоспоживання на сьогоднішній день є метод Контролю й Нормалізації енергоспоживання.

В основі методики лежить аналіз регресійної залежності попарних значень двох вибірок даних, одна з яких – значення витрат енергії, друга вибірка – значення фактора, від якого залежить витрата енергії.

Застосування регресійного аналізу дає змогу одержати співвідношення між величиною витрати ПЕР і її змінною величиною – кількістю градусодіб. Найбільш проста й досить достовірна модель для даного випадку – лінійна модель залежності витрати енергетичних ресурсів від кількості градусодіб виду:

$$Y = a \cdot x + b,$$

де Y – витрата енергоресурсу,

x – кількість градусодіб,

a – коефіцієнт залежності, що означає змінну складову витрати енергоресурсу, що залежить від кількості градусодіб,

b – коефіцієнт залежності, що означає постійну складову витрати енергоресурсу, що не залежить від кількості градусодіб.

Математичною базою лінійного регресійного аналізу є метод найменших квадратів.

Якісно-кількісну оцінку тісноти зв'язку між функцією (витрата енергоресурсів) та аргументом (кількість градусодіб) характеризує величина коефіцієнта кореляції R^2 .

У практиці застосування методики КіН використовують квадрат коефіцієнта кореляції – коефіцієнт детермінації R^2 .

Обчислення коефіцієнтів b і a рівнянь регресії, а також значення коефіцієнта детермінації R^2 , як правило, проводиться автоматично, використовуючи MS Excel або спеціалізовані програмні продукти.

Таким чином, застосування методу регресійного аналізу дозволяє одержати співвідношення між енергією та її змінною величиною й визначати передісторію споживання енергії в умовах «постійних» і «змінних» навантажень.

Моніторинг економії енергетичних та фінансових ресурсів.

Основний показник ефективності впровадження заходів з енергозбереження – це економія енергетичних ресурсів за опалувальний 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):

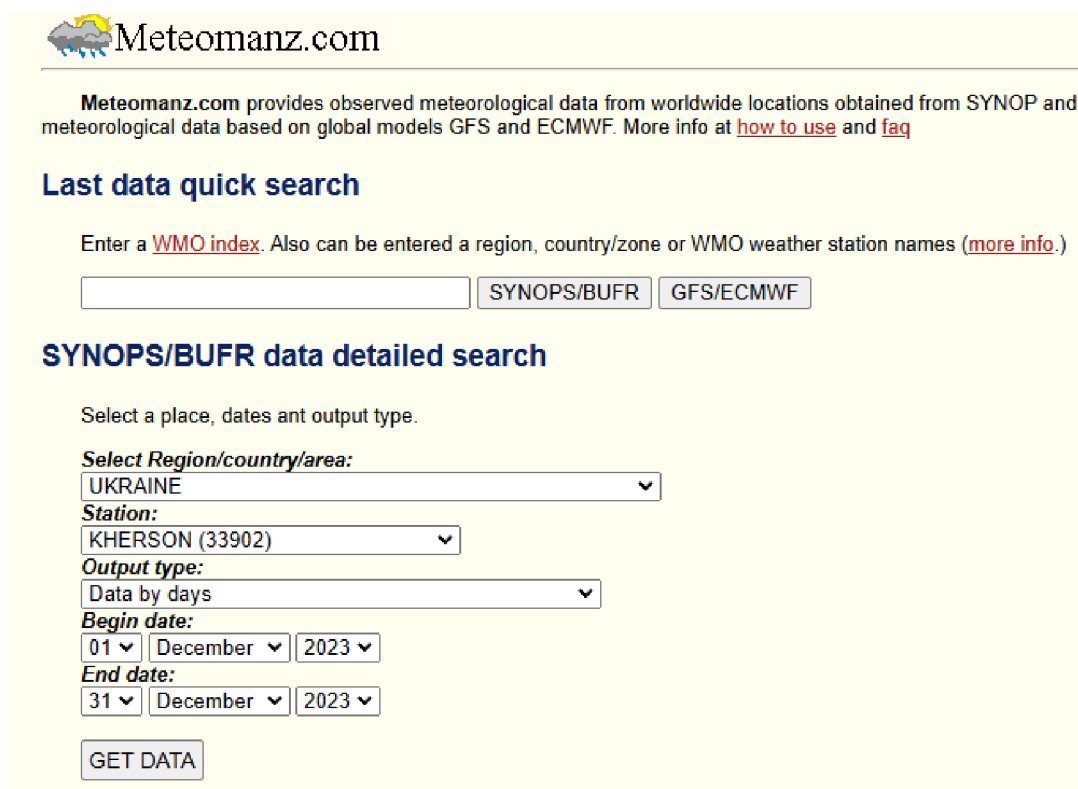
$$\Delta C = \Delta Q \cdot T_{\text{ен}}$$

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.

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 тепlopостачання). За допомогою "meteomanz.com" отримано дані стосовно опалювальних періодів трьох років: з 2021 по 2024 роки (рис. 2.1).



The screenshot displays the Meteomanz.com website interface. At the top, there is a logo with a cloud and rain icon next to 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](#)".

The main section is titled "Last data quick search". It includes 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 this is the "SYNOPS/BUFR data detailed search" section. It starts with the instruction "Select a place, dates and output type." followed by several dropdown menus:

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

At the bottom of this section is a "GET DATA" button.

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).

SYNOP/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.

2.4. Висновки по розділу 2.

- 1) Розроблено поетапні кроки створення СЕнМ для об'єднання співвласників багатоквартирних будинків.
- 2) Запропоновано кроки впровадження системи енергетичного менеджменту для житлового комплексу, які дозволять ефективно здійснювати управління енергоспоживанням та знизити грошові витрати на оплату енергоресурсів.

3) Представлено основні методи дослідження та моніторингу споживання теплової та електричної енергії з описом програмного забезпечення, яке застосовано при отримання експериментальних та розрахункових даних.

3. РОЗРАХУНКОВИЙ РОЗДІЛ

3.1. Аналіз метеорологічних даних.

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.

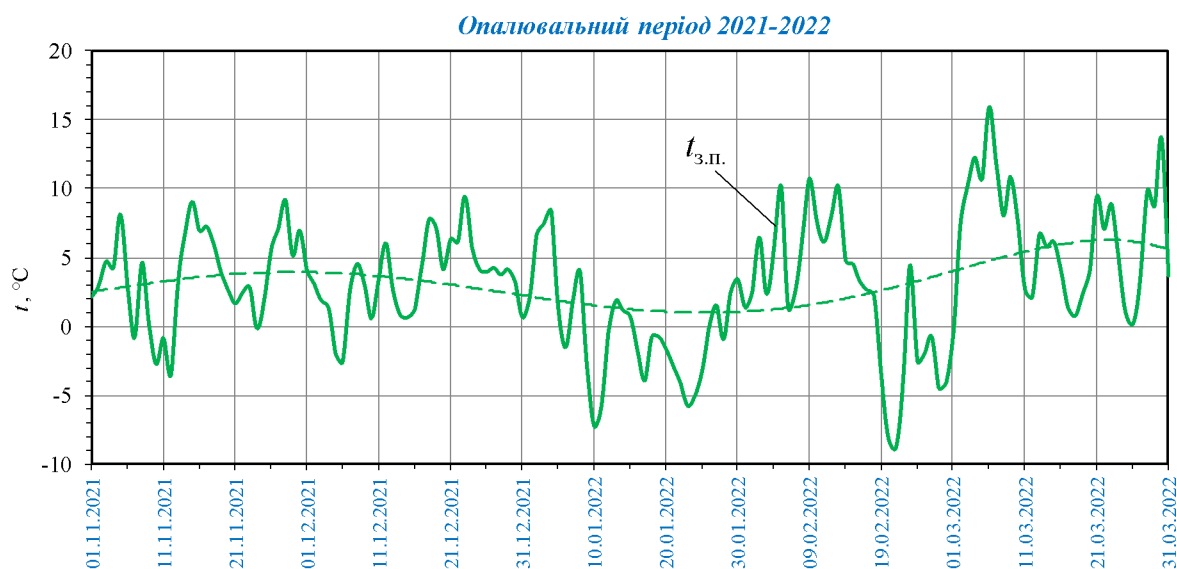


Рис. 3.1. Зміни температури зовнішнього повітря протягом 2021-2022 опалювального періоду.



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

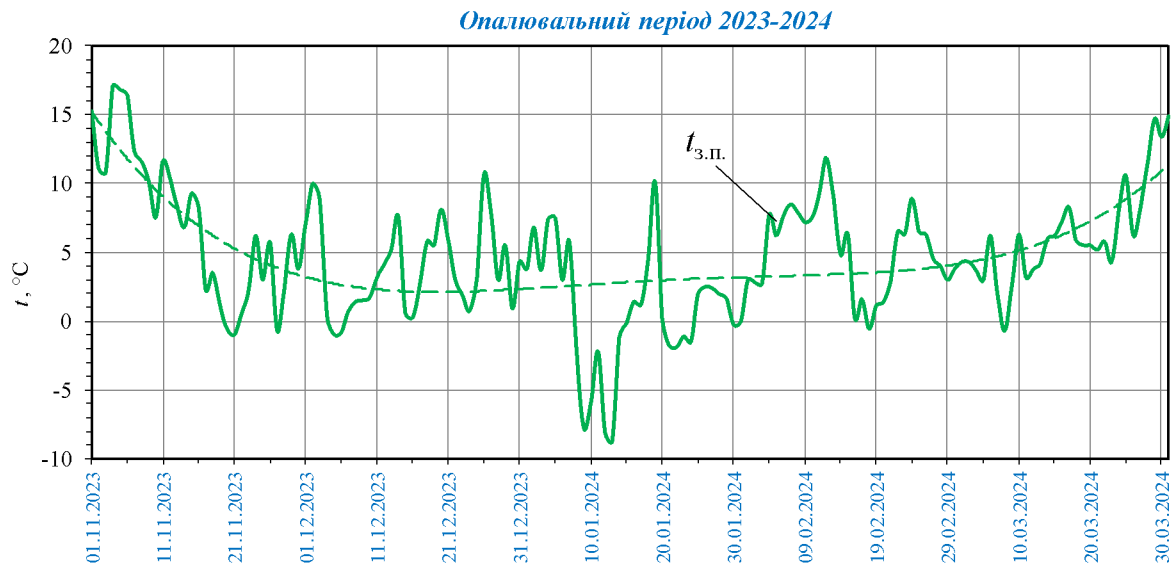


Рис. 3.3. Зміни температури зовнішнього повітря протягом 2023-2024 опалювального періоду.

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. Дослідження енергетичного потенціалу котельні для житлового комплексу.

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.

Період	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.

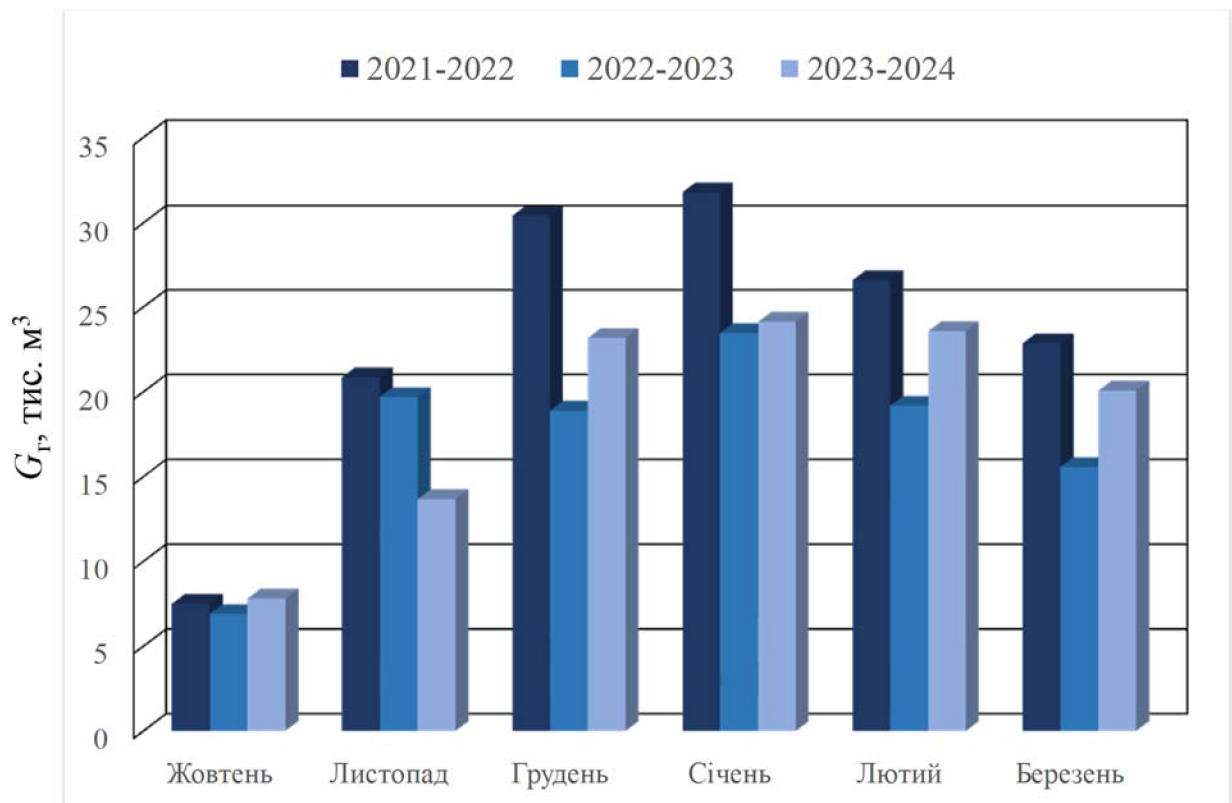


Рис. 3.4. Споживання природного газу котельною протягом опалювального періоду по місяцях.

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.

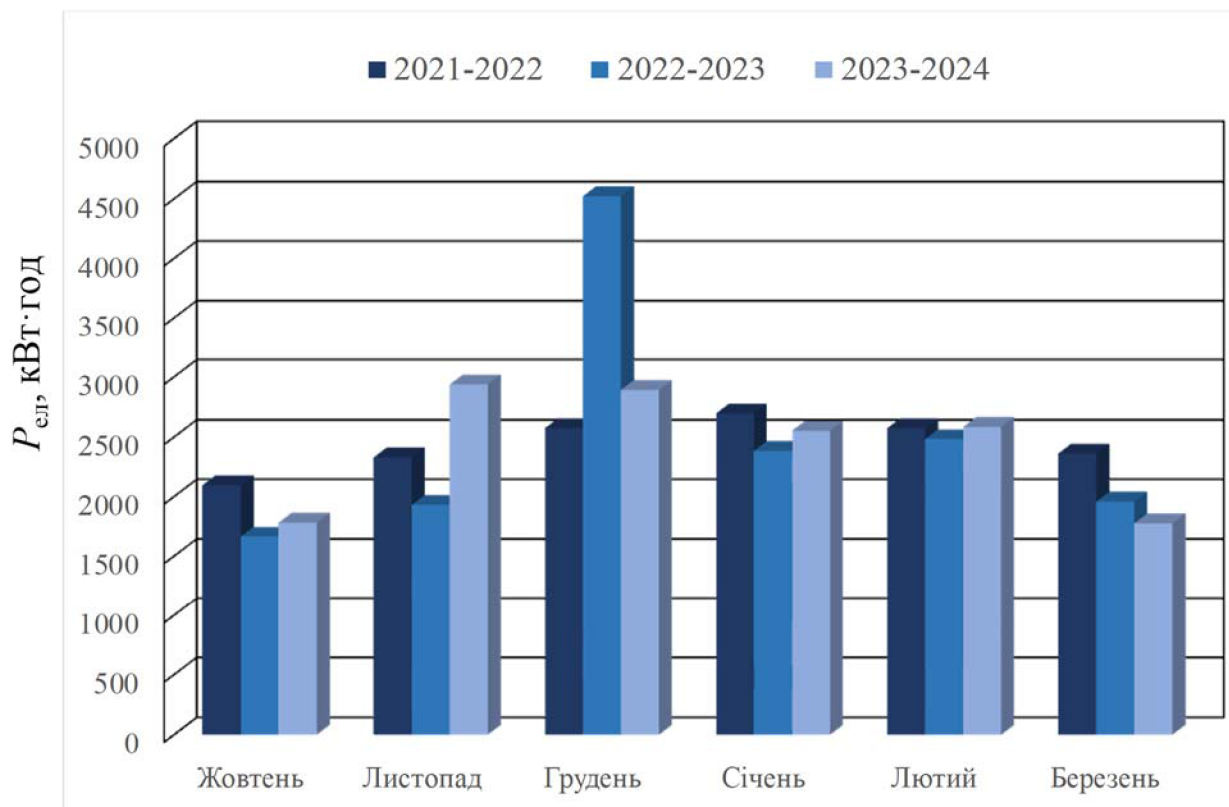


Рис. 3.6. Споживання електричної енергії котельною протягом опалювального періоду по місяцях.

Аналіз водоспоживання в системі тепlopостачання 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.

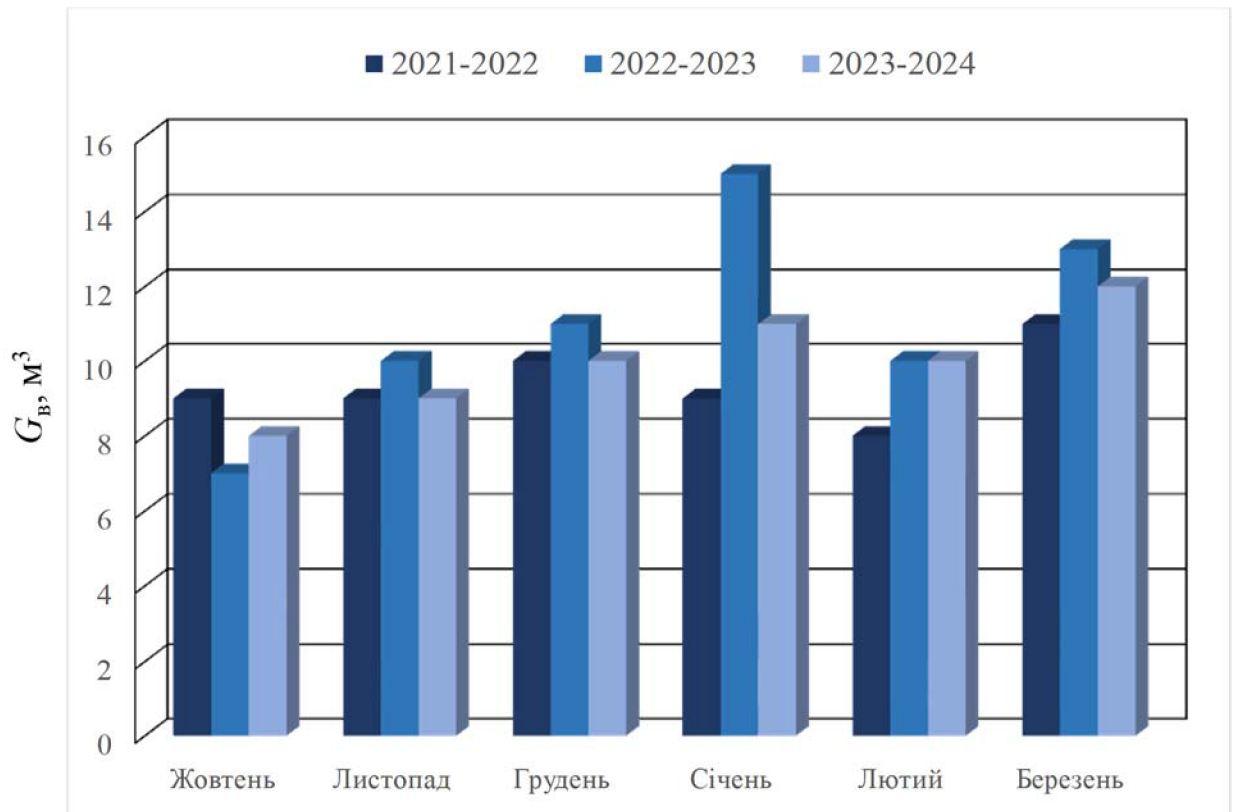


Рис. 3.6. Споживання води котельною протягом опалювального періоду по місяцях.

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. Визначення заходів щодо енергозбереження.

При виборі заходів із енергозбереження для котельної житлового комплексу слід врахувати режими нестабільного споживання паливно-енергетичних ресурсів та передбачити установку сучасного, з високими коефіцієнтами корисної дії обладнання:

- 1) погодозалежне регулювання відпуску тепла до споживача;
- 2) розробка альтернативних схемних рішень для можливості використання електричної енергії для опалювання житлового комплексу;
- 3) автоматичне регулювання параметрів роботи котлів та допоміжного обладнання котельні за рахунок комплексної автоматизації технологічного процесу;
- 4) встановлення контрольно-вимірювальних приладів для контролю за параметрами роботи котельні;
- 5) застосування ефективних пальників для котла з глибокою модуляцією та можливістю регулювання продуктивності в широкому діапазоні зовнішніх температур і плавне регулювання процесу спалення газу.

Автором запропоновано альтернативне схемне рішення з використанням теплового насосу в системі тепlopостачання для більш ефективного використання енергоресурсів в південному регіоні України.

3.4. Розробка альтернативного технічного рішення системи тепlopостачання.

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.

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. 3.10).

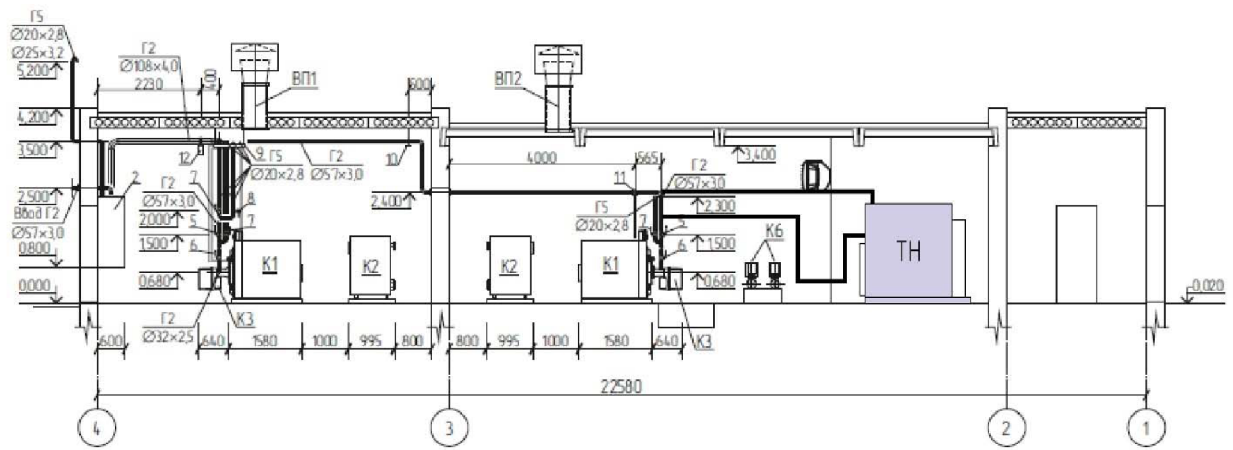


Рис. 3.10. Загальне розташування обладнання котельні для схеми з тепловим насосом.

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. 3.11).

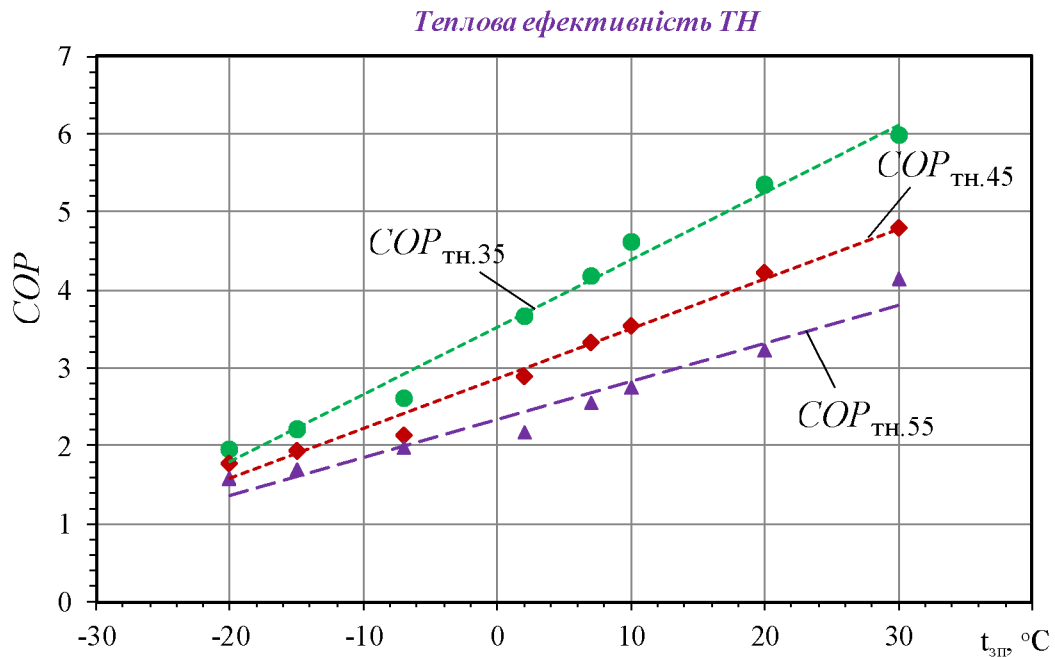


Рис. 3.11. Експериментальні значення коефіцієнта ефективності теплового насосу $COP_{ТН}$ в залежності від температури зовнішнього повітря $t_{зп}$ при різних температурах теплоносія t_{w1} .

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

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

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.

3.5. Висновки по розділу 3.

1) Визначено метеорологічні дані регіону, де розташована досліджувана будівля та показана зміна температур зовнішнього повітря

протягом 2019-2020, 2021-2022, 2021-2022 опалювальних періодів (років) з інтервалом три години.

2) На прикладі ОСББ «Мрія» встановлено залежності рівня споживання енергетичних ресурсів (природного газу, електричної енергії та котлової води) від зміни зовнішньої температури, що обґрунтувало розробку схемного рішення застосування газових котлів у комбінації з тепловими насосами, з урахуванням погодозалежного режиму протягом опалювального періоду.

3) Отримано емпіричні залежності коефіцієнта ефективності теплового насосу для розрахунку системи тепlopостачання в залежності від значень початкової температури теплоносія на вході та температури зовнішнього повітря.

4. ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ

4.1. Моделювання характеристик системи теплопостачання житлового комплексу в погодозалежному режимі.

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 насоса 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 2019-2020 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 $G_{\text{г.баз}} = 29,7$ кг/год (рис. 4.1). При застосуванні в схемі теплового насосу в комбінації з котлом питома витрата палива значно зменшується і складає в середньому до $G_{\text{г(+ТН)}} = 17,9$ 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.



Рис. 4.1. Залежності питомої витрати природного газу для базової схеми із газовим котлом $G_{г.баз}$ та витрати природного газу для комбінованої схеми із тепловим насосом $G_{г.(+TH)}$.

При аналізі споживання природного газу для базової схеми із газовим котлом та для комбінованої схеми із тепловим насосом по місяцях (рис. 4.2) 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 – $\Sigma V_{г.баз} = 108,3$ тис. m^3 та для комбінованої схеми (з тепловим насосом) – $\Sigma V_{г.(+TH)} = 65,3$ тис. m^3 , таким чином, скорочення витрати палива складає 43,0 тис. m^3 в порівнянні із базовим варіантом.

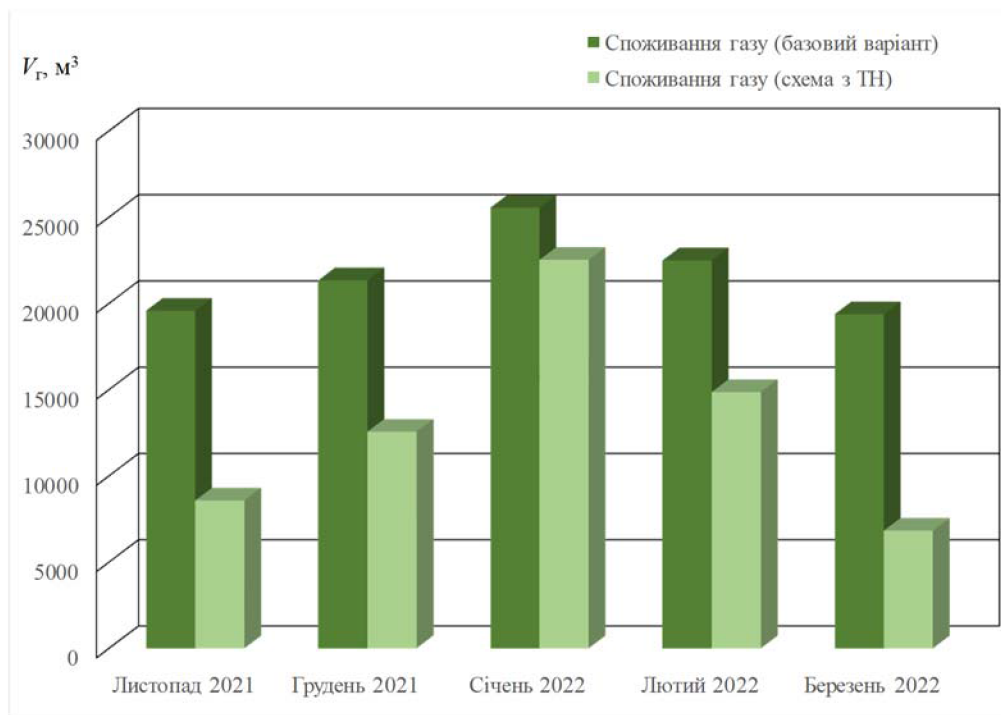


Рис. 4.2. Споживання природного газу для базової схеми із газовим котлом та для комбінованої схеми із тепловим насосом по місяцях.

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.

На рис. 4.3. наведені залежності теплового навантаження на теплові насоси для початкової температури теплоносія $t_{w1} = 45^{\circ}\text{C}$, які складають в середньому $Q_{\text{ТН}} = 55\text{--}116 \text{ кВт}$ при електричному навантаженні на компресора теплових насосів $N_{\text{ТН}} = 12\text{--}37 \text{ кВт}$.

Показники споживання електричної енергії для комбінованої схеми із тепловим насосом $E_{\text{ел}}$ по місяцях коливаються в залежності від температури зовнішнього повітря та складають до $E_{\text{ел}} = 11300 \text{ кВт}$ (рис. 4.4). Найбільші значення витрати електроенергії спостерігаються протягом всіх місяців (окрім

січня), що пов'язано з теплою зимою, коли температура повітря не знижується нижче $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ і в системі працює тепловий насос.

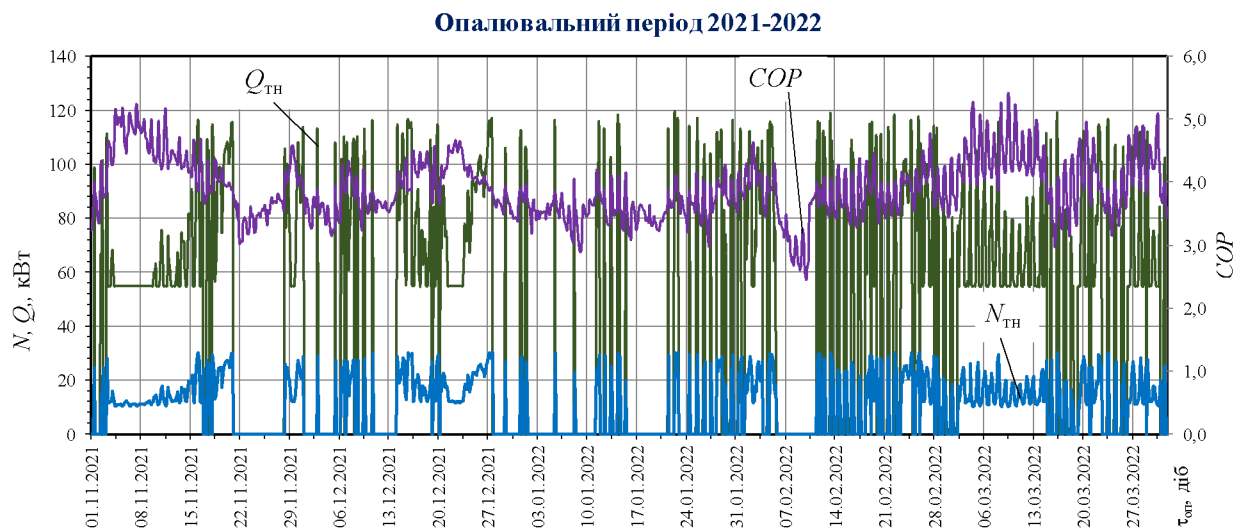


Рис. 4.2. Залежності коефіцієнта COP , теплове навантаження Q_{TH} та електричне навантаження на теплові насоси N_{TH} при температурі теплоносія в системі опалення $t_{w1} = 45\text{ }^{\circ}\text{C}$.



Рис. 4.4. Залежності споживання електричної енергії для комбінованої схеми із тепловим насосом $E_{ел}$ по місяцях при температурі теплоносія в системі опалення $t_{w1} = 45\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Визначені показники сумарного споживання електричної енергії для комбінованої схеми із тепловим насосом $E_{\text{ел}}$ (рис. 4.5) для різних температур теплоносія в системі опалення: при $t_w = 35^\circ\text{C}$ сумарне споживання складає $\Sigma E_{\text{ел}} = 35600$ кВт, при $t_w = 45^\circ\text{C}$ – $\Sigma E_{\text{ел}} = 44540$ кВт, $t_w = 55^\circ\text{C}$ – $\Sigma E_{\text{ел}} = 54800$ кВт.

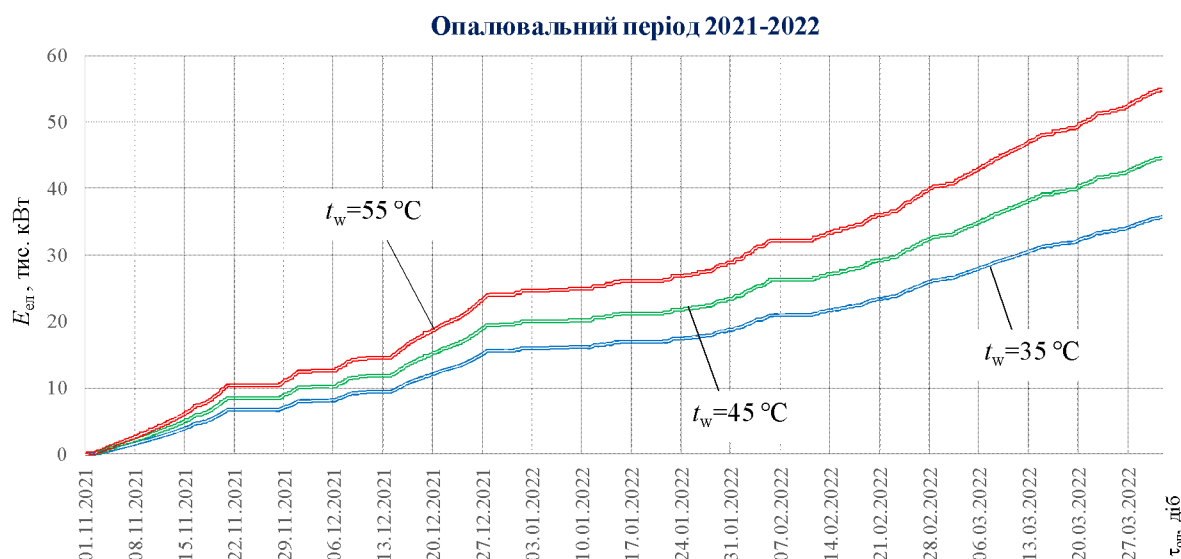


Рис. 4.5. Залежності сумарного споживання електричної енергії для комбінованої схеми із тепловим насосом $E_{\text{ел}}$ для різних температур теплоносія в системі опалення: $t_w = 35^\circ\text{C}$, $t_w = 45^\circ\text{C}$, $t_w = 55^\circ\text{C}$.

Опалювальний період протягом 2022-2023 років.

У системі тепlopостачання, що працює виключно на газовому котлі, середня питома витрата природного газу протягом опалювального сезону становить 34,3 кг/год (рис. 4.6).

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. 4.6. 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. 4.7) визначено, що в листопаді та березні споживання газу скорочується майже в два рази.

За різних температурних режимів значення COP змінюються наступним чином:

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

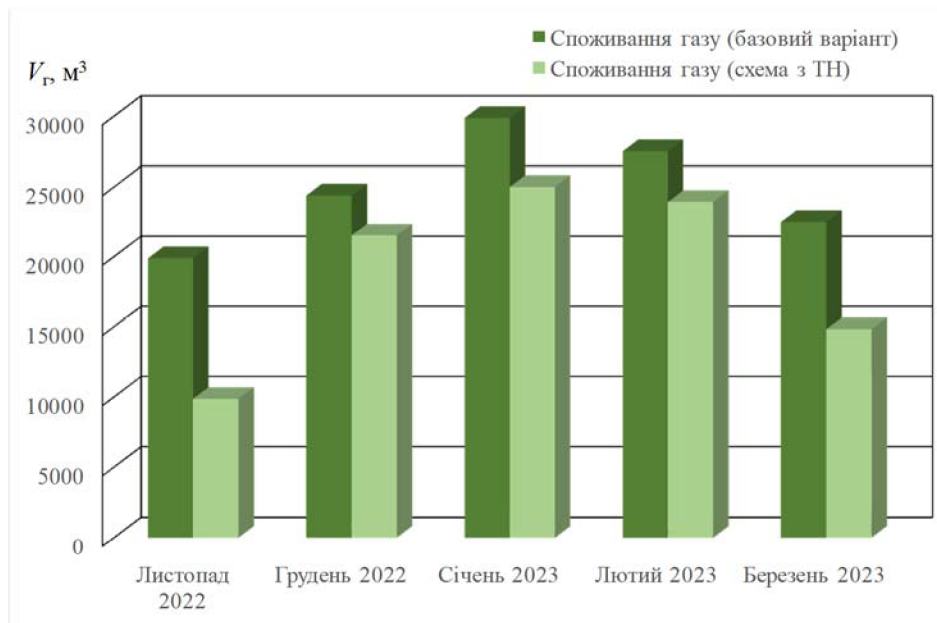


Рис. 4.7. Споживання природного газу для базової схеми із газовим котлом та для комбінованої схеми із тепловим насосом по місяцях.

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

Моделювання відносно зміни початкової температури теплоносія t_{w1} показує, що значення коефіцієнта COP знаходяться в діапазоні середніх значень та складають: при $t_{w1} = 35\text{ }^\circ\text{C}$ – $\text{COP} = 1,89\text{--}4,85$, при $t_{w1} = 45\text{ }^\circ\text{C}$ – $\text{COP} = 1,65\text{--}3,83$, при $t_{w1} = 55\text{ }^\circ\text{C}$ – $\text{COP} = 1,42\text{--}3,1$.

Теплове навантаження теплових насосів для початкової температури теплоносія $t_{w1} = 45\text{ }^\circ\text{C}$ при цьому складає в середньому $Q_{\text{ТН}} = 100\text{--}116$ кВт при електричному навантаженні на компресора теплових насосів $N_{\text{ТН}} = 15\text{--}38$ кВт (рис. 4.8).

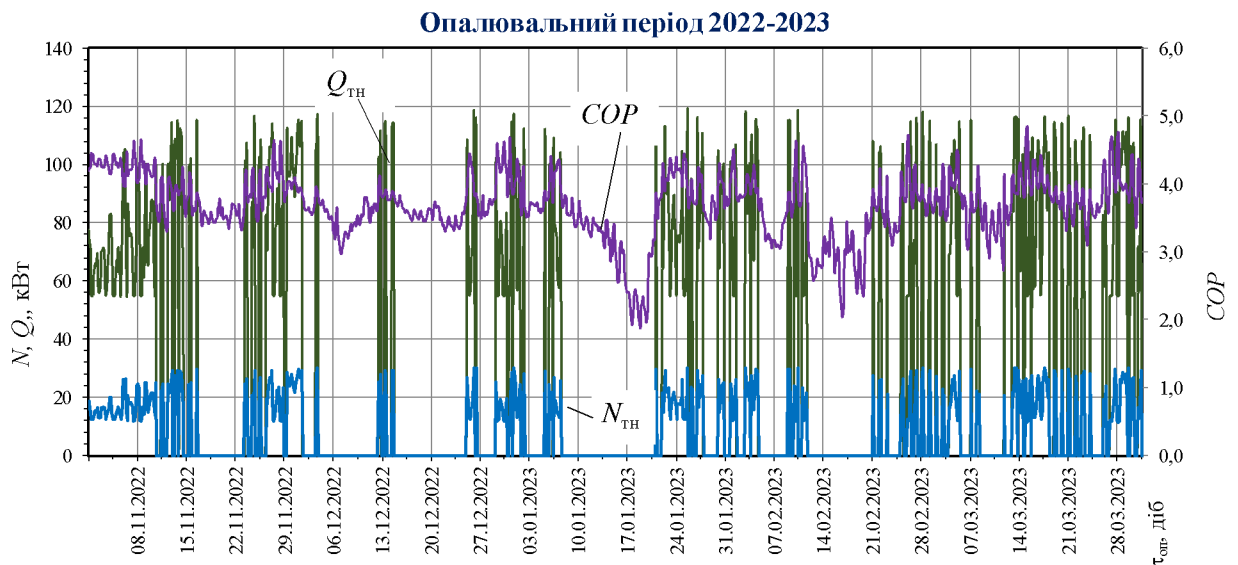


Рис. 4.8. Залежності коефіцієнта COP , теплове навантаження на тепловий насос $Q_{ТН}$, електричне навантаження на тепловий насос $N_{ТН}$ при температурі теплоносія в системі опалення $t_{w1} = 45\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Показники споживання електричної енергії для комбінованої схеми із тепловим насосом $E_{ел}$ по місяцях коливаються в залежності від температури зовнішнього повітря та складають до $E_{ел} = 11500\text{ кВт}$ (рис. 4.9).

Наведемо залежність сумарного споживання електричної енергії в комбінованій схемі з тепловим насосом від температури теплоносія в системі опалення (рис. 4.10):

- 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 .

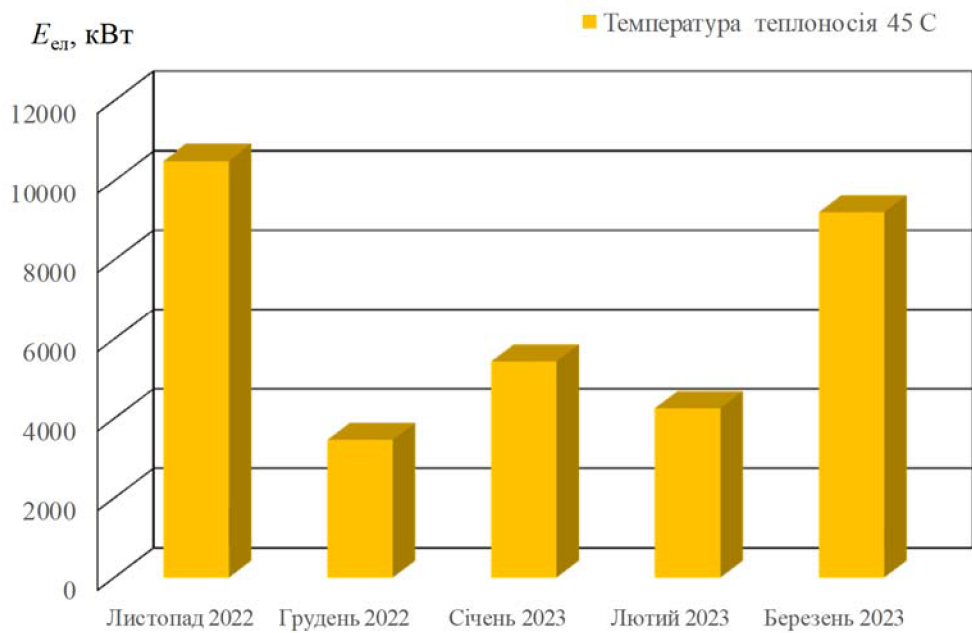


Рис. 4.9. Залежності споживання електричної енергії для комбінованої схеми із тепловим насосом $E_{\text{ел}}$ по місяцях при температурі теплоносія в системі опалення $t_{w1} = 45\text{ }^{\circ}\text{C}$.

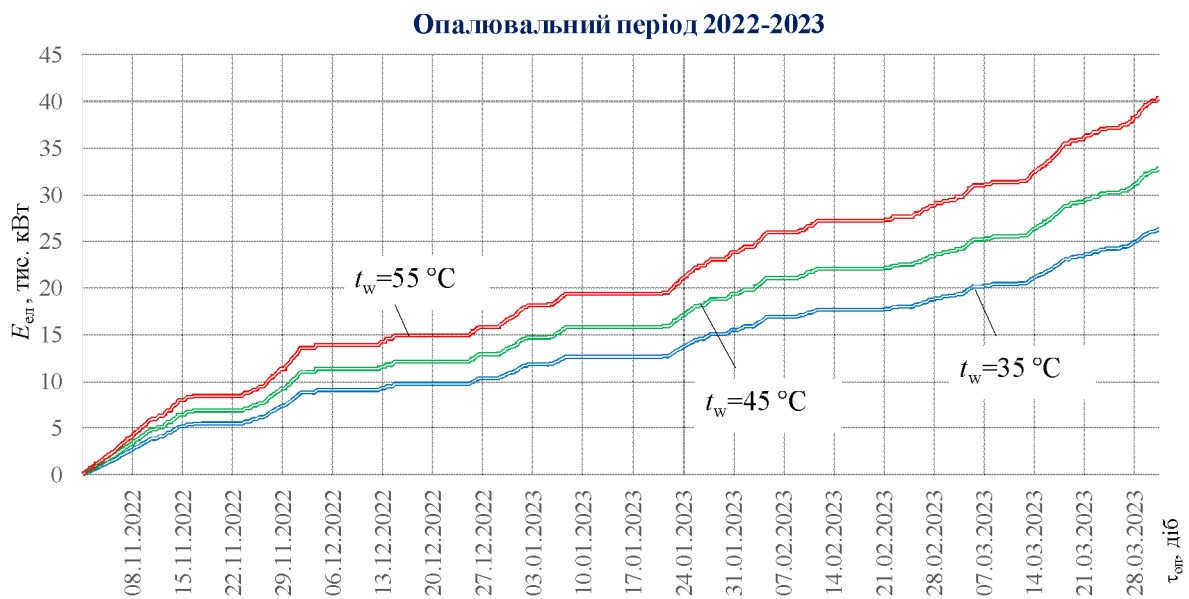


Рис. 4.10. Залежності сумарного споживання електричної енергії для комбінованої схеми із тепловим насосом $E_{\text{ел}}$ для різних температур теплоносія в системі опалення: $t_w = 35\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t_w = 45\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t_w = 55\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Опалувальний період протягом 2023-2024 років.

У системі тепlopостачання, що працює виключно на газовому котлі, середня питома витрата природного газу протягом опалувального сезону становить 34,6 кг/год (рис. 4.11).

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

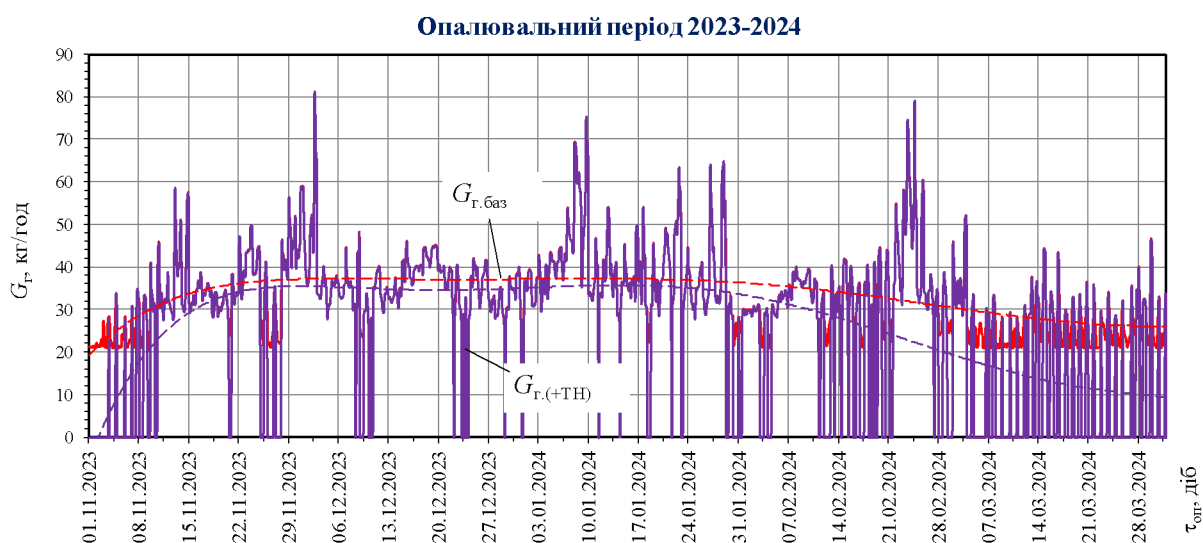


Рис. 4.11. Залежності питомої витрати природного газу для базової схеми із газовим котлом $G_{\text{г},\text{баз}}$ та витрати природного газу для комбінованої схеми із тепловим насосом $G_{\text{г},(+\text{ТН})}$.

При аналізі споживання природного газу для базової схеми із газовим котлом та для комбінованої схеми із тепловим насосом по місяцях (рис. 4.12) визначено, що в листопаді та березні споживання газу скорочується майже в два рази.

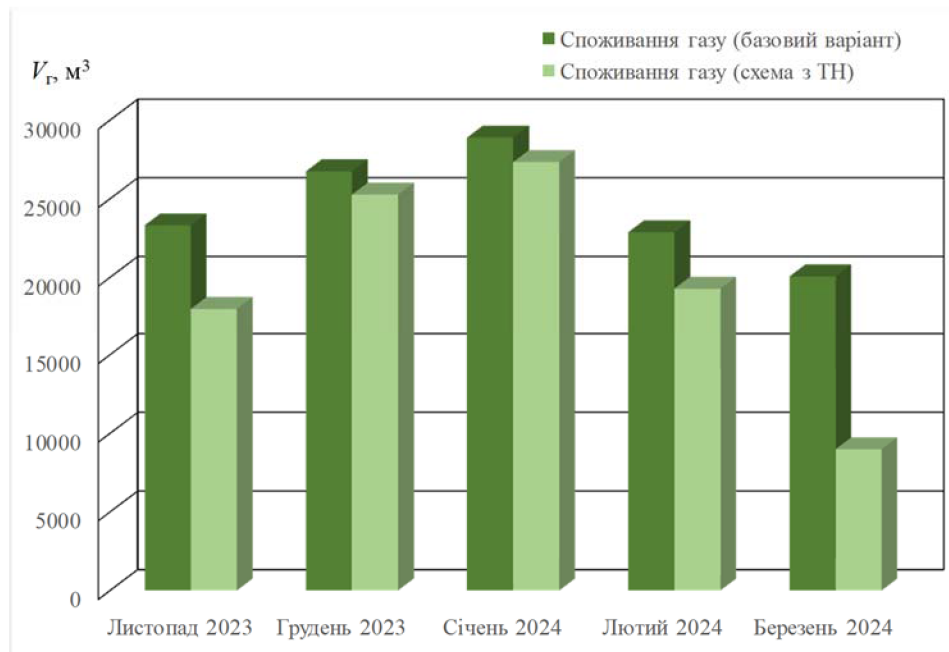


Рис. 4.12. Споживання природного газу для базової схеми із газовим котлом та для комбінованої схеми із тепловим насосом по місяцях.

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. м³ та для комбінованої схеми (з тепловим насосом) – $\Sigma V_{г.(+ТН)} = 98,8$ тис. м³, що на 23,1 тис. м³ менше ніж в базовому варіанті (рис. 4.17).

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. 4.13).

Показники споживання електричної енергії для комбінованої схеми із тепловим насосом $E_{\text{ел}}$ по місяцях коливаються в залежності від температури зовнішнього повітря та складають до $E_{\text{ел}} = 11550$ кВт (рис. 4.14).

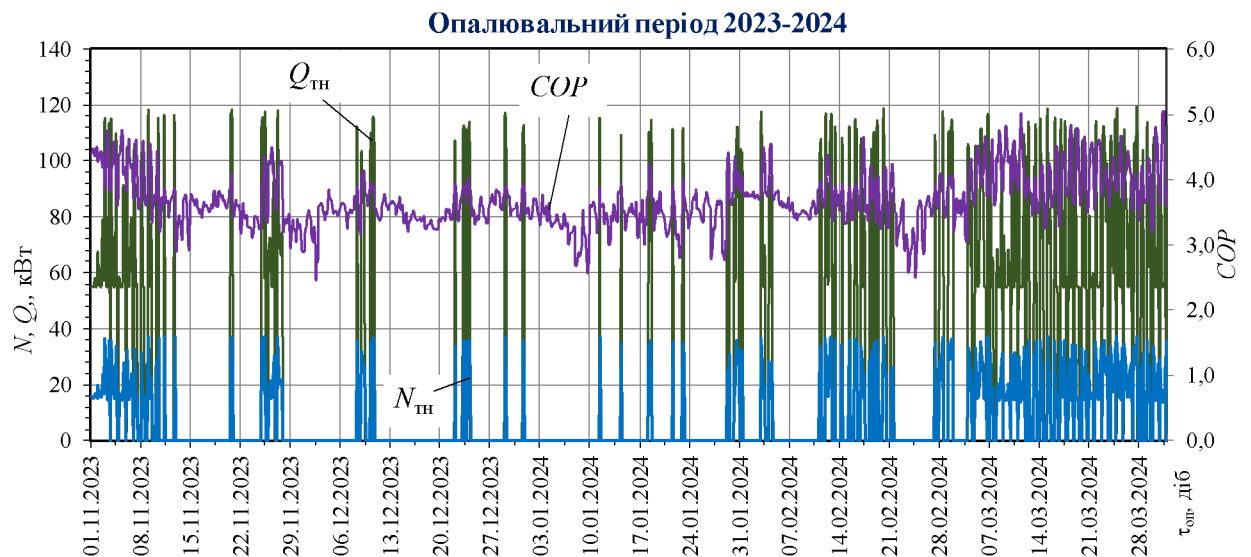


Рис. 4.13. Залежності коефіцієнта COP, теплове навантаження на тепловий насос $Q_{\text{тн}}$, електричне навантаження на тепловий насос $N_{\text{тн}}$ при температурі теплоносія в системі опалення $t_{\text{wl}} = 45^\circ\text{C}$.

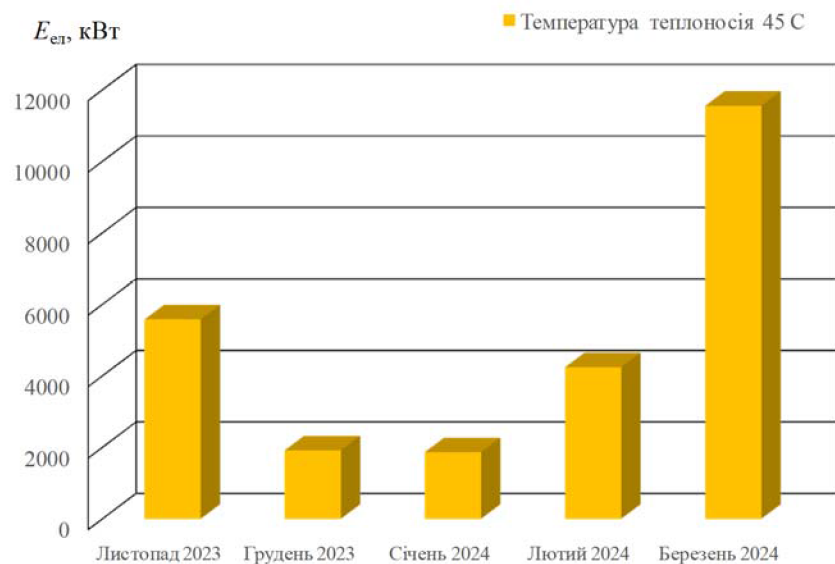


Рис. 4.14. Залежності споживання електричної енергії для комбінованої схеми із тепловим насосом $E_{\text{ел}}$ по місяцях при температурі теплоносія в системі опалення $t_{\text{wl}} = 45^\circ\text{C}$.

Найбільші значення витрати електроенергії спостерігаються в листопаді, березні, що пов'язано з більшою кількістю теплих днів, коли температура повітря не знижується нижче 4 °С і в системі працює тепловий насос. Визначені показники сумарного споживання електричної енергії для комбінованої схеми із тепловим насосом $E_{\text{ел}}$ (рис. 4.15) для різних температур теплоносія в системі опалення: при $t_w = 35$ °С сумарне споживання складає $\Sigma E_{\text{ел}} = 20390$ кВт, при $t_w = 45$ °С – $\Sigma E_{\text{ел}} = 25450$ кВт, $t_w = 55$ °С – $\Sigma E_{\text{ел}} = 31320$ кВт.

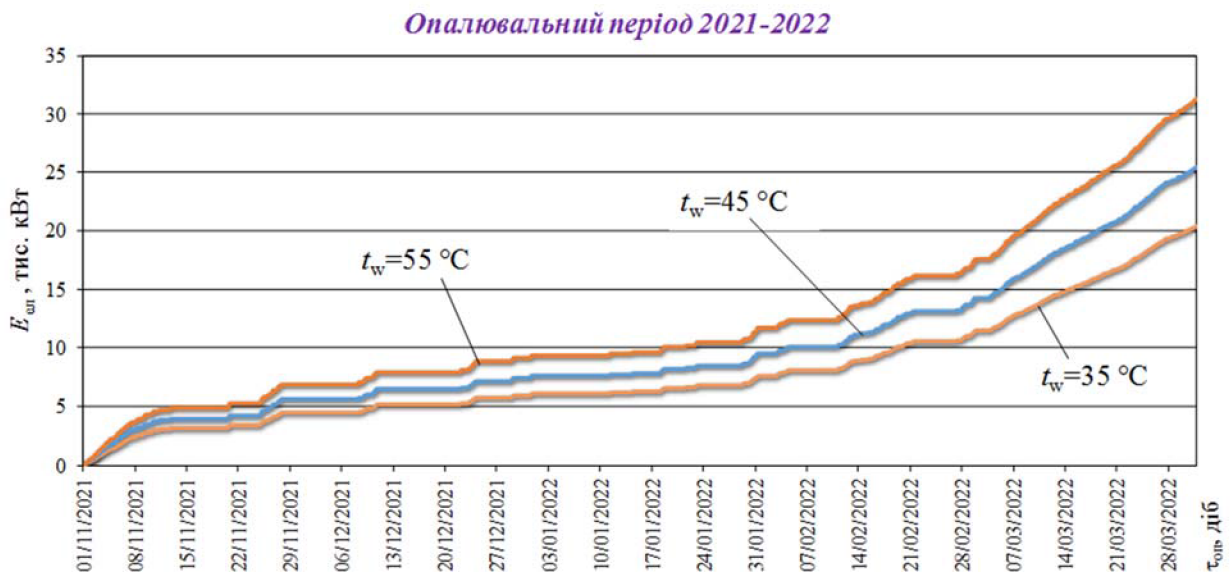


Рис. 4.15. Залежності сумарного споживання електричної енергії для комбінованої схеми із тепловим насосом $E_{\text{ел}}$ для різних температур теплоносія в системі опалення: $t_w = 35$ °С, $t_w = 45$ °С, $t_w = 55$ °С.

Ключовим аргументом є кліматичні особливості регіону: впродовж зимового сезону майже половина днів характеризується температурою вище 4°С. 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 30,0–50,0 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.

4.2. Оцінка економічної ефективності застосування нового схемного рішення по місяцях за опалювальний період.

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).

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.

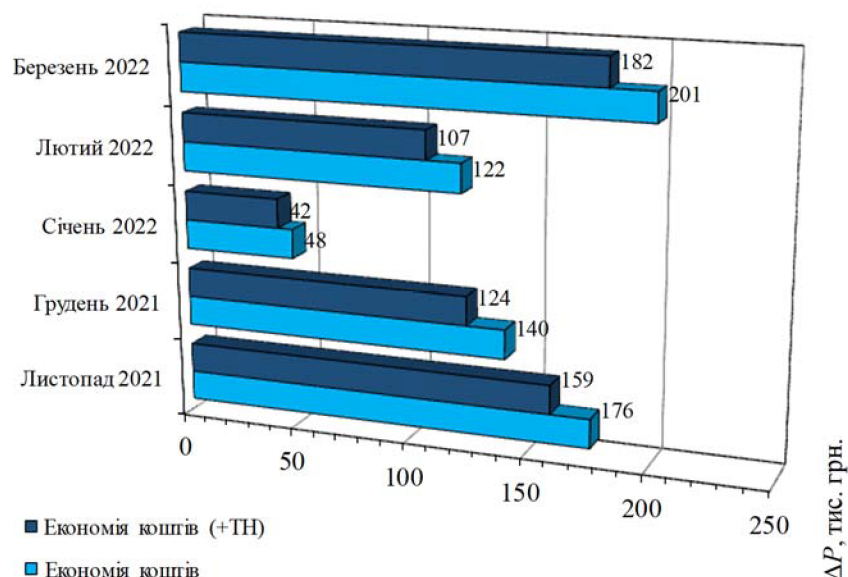


Рис. 4.17. Економія коштів від скорочення витрати природного газу для схеми з комбінованим застосуванням газового котла та теплового насосу по місяцях за 2021-2022 опалювальний період (грн).

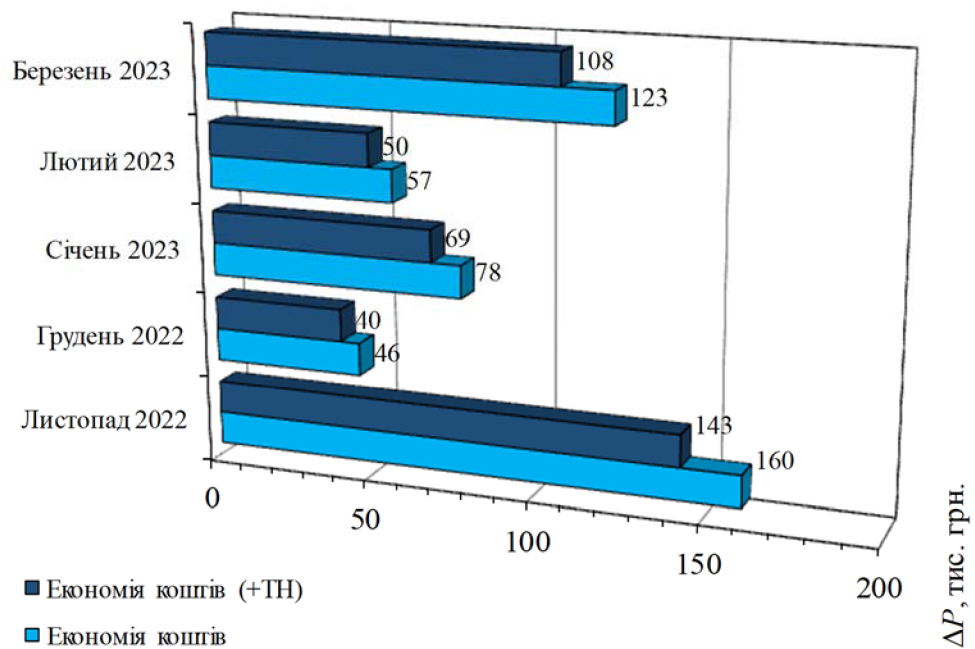


Рис. 4.18. Економія коштів по місяцях за 2022-2023 опалювальний період (грн).

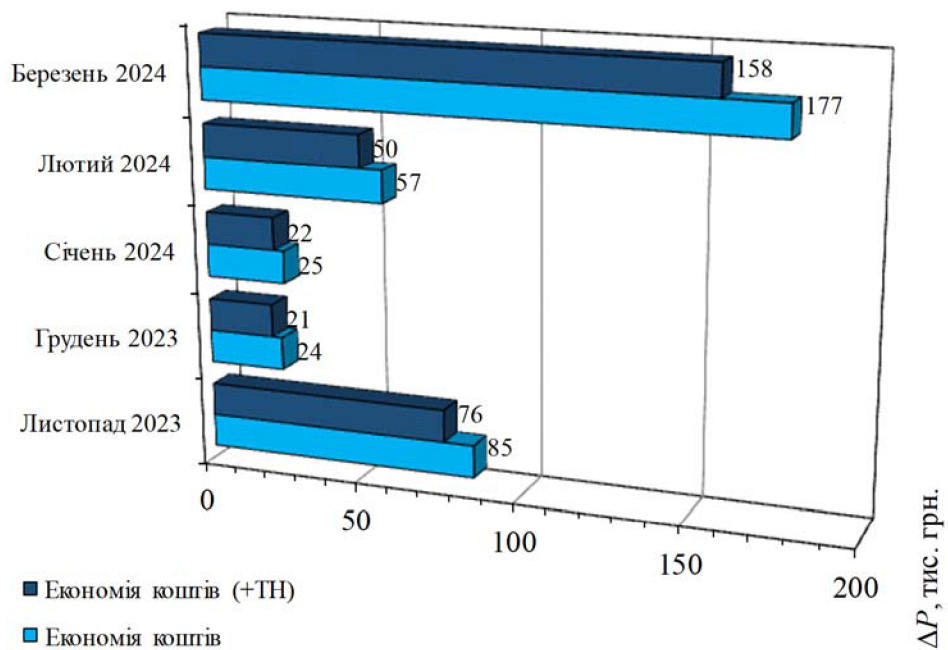


Рис. 4.19. Економія коштів по місяцях за 2023-2024 опалювальний період (грн).

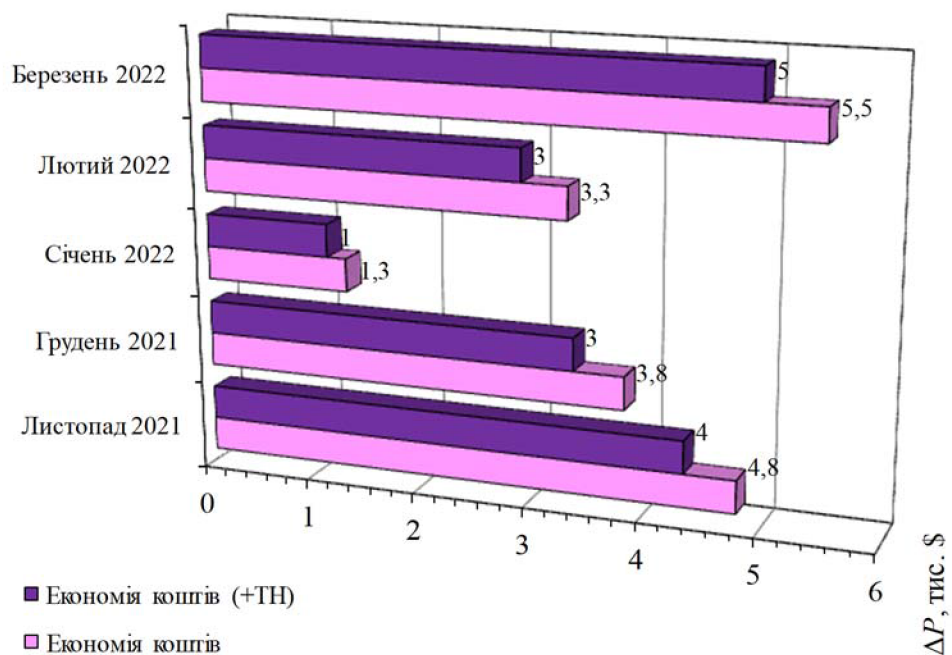


Рис. 4.20. Економія коштів по місяцях за 2021-2022 опалювальний період (дол. США).

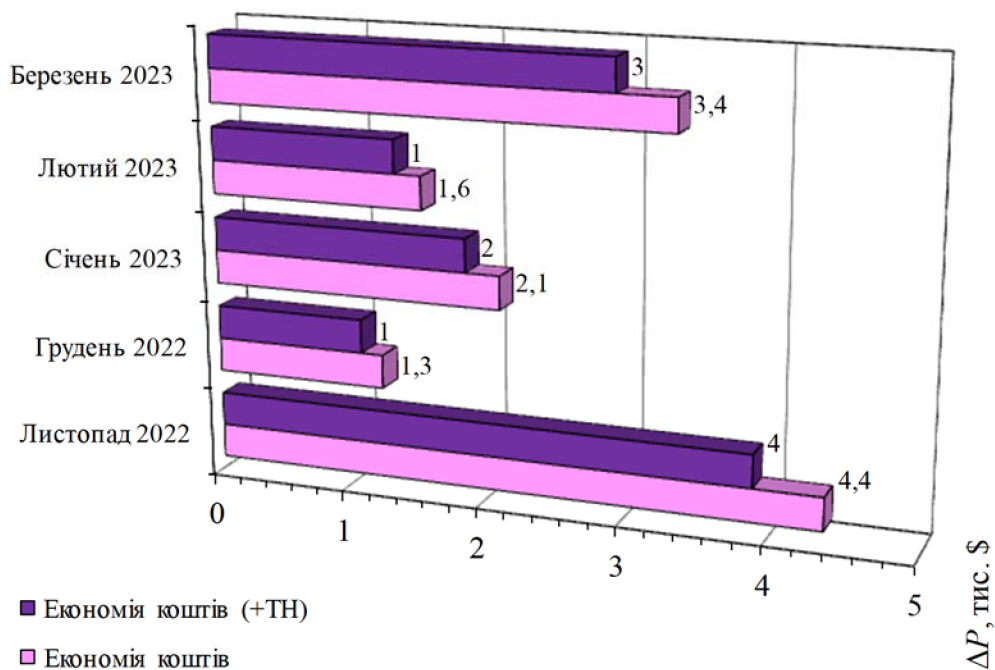


Рис. 4.21. Економія коштів по місяцях за 2022-2023 опалювальний період (дол. США).

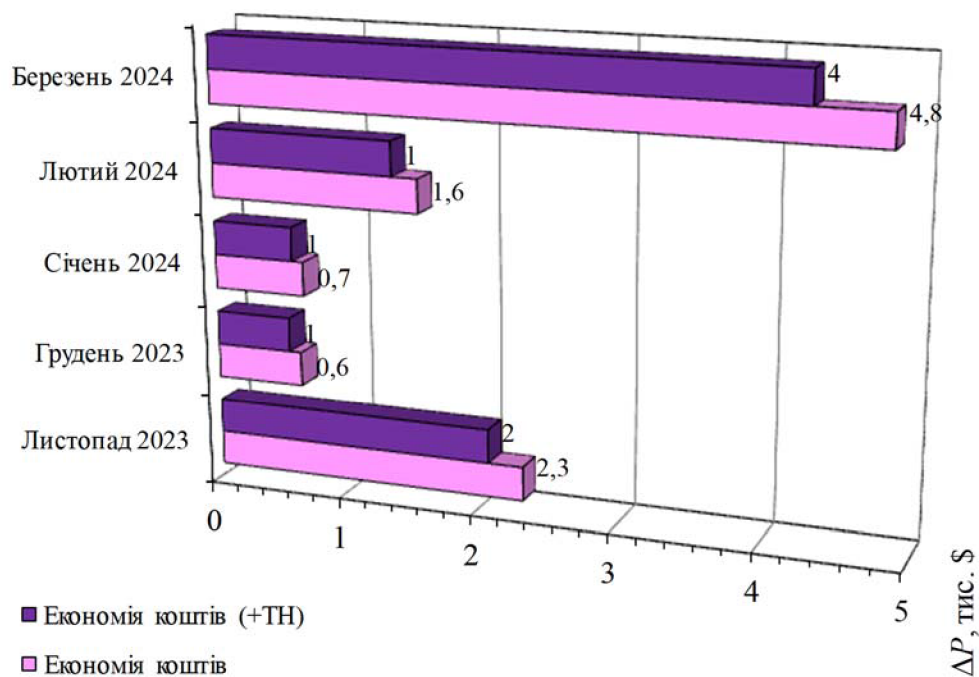


Рис. 4.22. Економія коштів по місяцях за 2023-2024 опалювальний період (дол. США).

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

4.3. 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).

РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА 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.

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 обсязі, 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;

- 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

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. При виявленні витоку 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 агенту за наявності наряду-допуску, виданого у встановленому порядку. Мастильні 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 гранично допустимих значень контрольованих параметрів, передбачених організацією-виробником або проектною документацією. Система

протиаварійного захисту та системи керування теплого насосу 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 унеможливити 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 зважуванням. Початкове заповнення теплонасосної установки холодильним агентом оформляється актом із додатком розрахунку необхідної кількості

холодильного агенту. У разі відсутності витoku холодильного агента при транспортуванні теплонасосної установки повної заводської готовності акт про початкове заповнення теплонасосної установки холодильним 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.

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.

5.3. Висновки до 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 тепlopостачання житлових будівель.

ВИСНОВКИ

- 1) Аналіз складових та функцій системи енергетичного менеджменту визначив шляхи її використання для житлового комплексу при підвищенні ефективності системи теплопостачання.
- 2) Запропоновано кроки впровадження системи енергетичного менеджменту для житлового комплексу «Мрія», які дозволять ефективно здійснювати управління енергоспоживанням та знизити грошові витрати на оплату енергоресурсів.
- 3) На прикладі ОСББ «Мрія» встановлено залежності споживання енергетичних ресурсів (природного газу, електричної енергії та котлової води) від зміни зовнішньої температури, що обґрунтувало розробку схемного рішення застосування газових котлів у комбінації з тепловими насосами, з урахуванням погодозалежного режиму протягом опалювального періоду.
- 4) Отримано емпіричні залежності коефіцієнта ефективності теплового насосу для розрахунку системи теплопостачання в залежності від значень початкової температури теплоносія на вході та температури зовнішнього повітря.
- 5) Встановлено, що економія коштів від впровадження схемного рішення комбінованого застосування газових котлів та теплових насосів (із урахуванням витрати коштів на живлення теплових насосів) складе 176,0–200,7 тис. грн (4,8–5,5 тис. дол. США).
- 6) Визначені заходи з охорони праці при експлуатації та монтажі теплонасосних установок, які забезпечують безпечне їх використання.
- 7) 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.

Література

1. Іншеков Є.М., Нікітін Є.Є., Тарновский М.В., Чернявський А.В. Посібник з муніципального енергетичного менеджменту. К.: Поліграф плюс, 2014. 238 с.
2. Берзіна С.В., Яреськовська І.І., Перминова С.Ю., Бузан Г.С., Ігнатенко А.В., Глущенко Р.О. Рекомендації щодо вимог з енергоефективності для закупівлі продукції державними органами. Критерії для енергоефективних закупівель. К.: КНУБА, 2020. 105 с.
3. Capehart B. L., Turner W. C., Kennedy W. J. Guide to Energy Management. Seventh Edition, The Fairmont Press, 2012. 659 p.
4. Комеліна О. В., Щербініна С. А. Сучасні проблеми забезпечення енергоефективності житлового будівництва в Україні. Проблеми економіки № 3, 2014. С. 108-114.
5. Денисюк С.П., Бориченко О.В. Теоретичні основи побудови систем енергетичного менеджменту в Україні. Енергетика: економіка, технології, екологія. 2015. № 1. С. 7–17.
6. ISO 50001:2014 «Energy management systems – Requirements with guidance for use».
7. ДСТУ ISO 50001:20 Енергозбереження. Системи енергетичного менеджменту. Вимоги та настанови щодо застосування. Переклад ISO 50001:2014 «Energy management systems – Requirements with guidance for use».
8. ДСТУ Б В.2.2-39:2016 Методи та етапи проведення енергетичного аудиту будівель.
9. Максимов А., Вахович І., Гутніченко Т. та ін. Енергоефективність в муніципальному секторі. Навчальний посібник для посадових осіб місцевого самоврядування. Асоціація міст України – К., ТОВ ПІДПРИЄМСТВО "ВІ ЕН ЕЙ", 2015. 184 с.

10. Введення в енергетичний менеджмент: підручник / А.В. Праховник, Є.М. Іншеков, Є.А. Штогрин. К.: НТУУ «КПІ», 2010. 272 с.
11. Дзяна Г.О., Дзяний Р.Б. Соціально-екологічні аспекти реалізації державної політики у сфері енергозбереження України. Монографія. ЛПІДУ НАДУ, 2010. 208 с.
12. Цибулько, А. Новий освітній простір. Енергоефективність. Інформаційний посібник. 2019, 42 с.
13. Акіншина О. В., Третькова Л.І., Антоненко О. М. Енергоаудит у системі енергоменеджменту підприємства. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://ena.lp.edu.ua:8080/bitstream/ntb/15998/1/2-Akinshyna-4-10.pdf>.
14. Енергетична стратегія України до 2030 року. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://zakon.nau.ua/doc>.
15. Галузева програма енергоефективності та енергозбереження в житлово-комунальному господарстві на 2010–2014 рр.: затверджена наказом Міністерства з питань житлово-комунального господарства України від 10 листопада 2009 р. № 352 [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://tc.nusta.com.ua/dkpkpu/dgerela/244.htm>.
16. Галузева програма підвищення енергоефективності у будівництві на 2010–2014 роки: затверджена наказом Міністерства регіонального розвитку та будівництва України від 30 червня 2009 р. № 257 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://tc.nusta.com.ua/dkpkpu/dgerela/246.htm>.
17. Державні будівельні норми України. Теплова ізоляція будівель. ДБН В.2.6-31:2016 [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://gazobeton.org/sites/default/files/sites/all/uploads/DBN-V.2.6-31-2016-Teplova-izolyatsiya-budivel.pdf>.
18. ДСТУ 2420-94. Енергозбереження. Терміни та визначення. К. Держстандарт України, 1994. – 19 с.
19. ДСТУ 3682-98. (ГОСТ 30583-98) Енергозбереження. Методика

визначення повної енергоємності продукції, робіт та послуг. – К.: Держстандарт України, 1999. – 11 с.

20. ДСТУ 3755-98 Енергозбереження. Номенклатура показників енергоефективності та порядок їх внесення у нормативну документацію. – К.: Держстандарт України, 1999. – 13 с.

21. ДСТУ 4065-2001. Енергозбереження. Енергетичний аудит. Загальні технічні вимоги (ANSI/IEEE 739:1995, NEQ). – К. : Держстандарт України, 2002. – 43 с.

22. ДСТУ 4110-2002. Енергоощадність. Методика аналізу та розрахування питомих витрат енергоресурсів (ANSI/IEEE 739:1995, NEQ)/ – К. : Держспоживстандарт України, 2003. – 33 с.

23. ДСТУ 4472-2005. Енергозбереження. Системи енергетичного менеджменту. Загальні вимоги. – К. : Держспоживстандарт України, 2006. – 22с.

24. 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>.

25. 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>.

26. Державні будівельні норми України. Опалення, вентиляція та кондиціонування. ДБН В.2.5-67:2013 [Електронний ресурс]. Режим доступу: http://minregion.gov.ua/attachments/files/bydivnitstvo/texnichne-regulyuvannya/normuvannja/DBN/2014/DBN_V.2.5-67_2013.pdf.

27. Про заходи з модернізації систем тепlopостачання Постанова Кабінету Міністрів України від 20.05.2009 р. № 682 [Електронний ресурс].

Режим доступу: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/682-2009-п>.

28. 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>.

29. Європейського Союзу, санітарних, екологічних, ветеринарних, фітосанітарних норм та міжнародних і європейських стандартів: Постанова Кабінету Міністрів України від 19.03.1997 р. № 244 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/244-97-%D0%BF>.

30. Про заходи щодо реконструкції житлових будинків перших масових серій: Постанова Кабінету Міністрів України від 14.05.1999 р. № 820 [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/820-99-%D0%BF>.

31. 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>.

32. Про комплексну державну програму енергозбереження України: Постанова Кабінету Міністрів України від 05.02.1997 р. № 148 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/148-97-%D0%BF>.

33. 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>.

34. 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>.

35. 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>.

36. 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>

37. Введення в енергетичний менеджмент: підручник / А.В. Праховник, Є.М. Іншеков, Є.А. Штогрин. К.: НТУУ «КПІ», 2010. 272 с.

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

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

40. 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/>

41. Енергетичний аудит об'єктів житлово-комунального господарства: Монографія / В.П. Розен та ін. – К.: ПП ВКФ "Дельта Фокс", 2007. – 224 с.

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

43. Kobalava H. Investigation of the geometric characteristics influence on pressure losses in the thermopressor. VI International Scientific-Technical Conference «Actual problems of renewable power engineering, construction and environmental engineering», Kielce, Poland, 24 – 27 November 2022. pp. 70-73.

44. Kobalava H., Kononov D. Efficiency analysis of multistage

compressor intercooling by using thermopressor. Інновації в суднобудуванні та океанотехніці: Матеріали XII Міжнародної науково-технічної конференції. Миколаїв, НУК, 2021. С. 290-292.