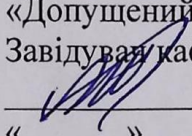


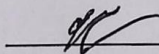
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
Машинобудівний навчально-науковий інститут
Кафедра експлуатації суднових енергетичних установок та теплоенергетика

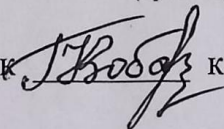
«Допущений до захисту»
Завідувач кафедри ЕСЕУ та ТЕ
 к.т.н., доцент Б.М. Личко
« ____ » ____ 2025 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
на здобуття ступеня вищої освіти МАГІСТР

на тему: Модернізація системи теплопостачання житлової будівлі на основі
Smart Thermal Grid технологій

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

 Соляник М.Ю.
(прізвище та ініціали)

Керівник  к.т.н., доц. Г.О. Кобалава

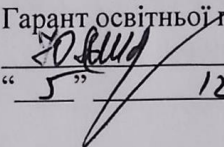
Миколаїв – 2025

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

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Гарант освітньої програми

 Шалобалов В.В.
“ 5 ” 12 2025 року

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

Соляник Максим Юрійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

I. Тема роботи Модернізація системи теплопостачання житлової будівлі на основі Smart Thermal Grid технологій

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

керівник роботи Кобалава Галина Олександрівна, канд.техн.наук, доцент

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

затверджені наказом закладу вищої освіти від “ ” 2025 року №

II. Строк подання студентом роботи

III. Вихідні дані до роботи

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

IV. Зміст розрахунково-пояснювальної записки та графічного матеріалу

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

Вступ (Обґрунтування актуальності теми роботи)

1. Загальний розділ (Сучасні Smart Thermal Grid технології та їх компоненти. Енергоефективність та оптимізація систем теплопостачання житлових будівель. Досвід впровадження та економічне обґрунтування Smart Thermal Grid. Постановка мети та завдань дослідження).

2. Теоретичний розділ (Основні методи дослідження. Методи оцінки споживання теплової та електричної енергії. Коротка характеристика теплотехнічного обладнання системи теплопостачання).

3. Розрахунковий розділ (Аналіз метеорологічних даних. Загальна характеристика об'єкта дослідження. Теплотехнічний розрахунок будинку. Розробка технічних рішень системи теплопостачання).

4. Дослідницький розділ. (Моделювання характеристик системи опалення в залежності від зміни температури зовнішнього повітря. Оцінка економії коштів за рахунок застосування схемних рішень для системи опалення по місяцях за опалювальний період. Оцінка економії коштів за рахунок застосування схемних рішень для системи опалення за опалювальний період протягом трьох років).

5. Розділ з охорони праці (Заходи з охорони праці при експлуатації котелень).

6. Заключний розділ (Висновки).

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

Список використаних джерел.

Додатки(за необхідності)

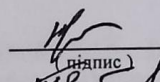
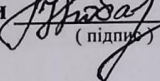
V. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

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

Студент

Керівник роботи


(підпис)

(підпис)

Соляник М.Ю.
(прізвище та ініціали)

Кобалава Г.О.
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Соляник М.Ю. «Модернізація системи тепlopостачання житлової будівлі на основі Smart Thermal Grid технологій».

Кваліфікаційна робота на здобуття кваліфікації магістр за спеціальністю 144 – «Теплоенергетика» (освітньо-професійна програма: «Теплоенергетика»). Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, Міністерство освіти і науки України, Миколаїв, 2025 р.

З метою визначення енергоефективності електричного опалення у порівнянні з традиційними джерелами тепlopостачання, у роботі здійснено порівняльний аналіз чотирьох схемних рішень для житлового будинку: моно-системи на базі газового або електричного котла, а також гібридні системи «газовий котел + тепловий насос» та «електричний котел + тепловий насос» із застосуванням погодозалежного регулювання. Отримано емпіричні залежності коефіцієнта трансформації теплоти та теплового навантаження, що дозволяють виконувати розрахунки системи опалення з урахуванням температури зовнішнього повітря та температурного графіка теплоносія. Визначено робочі характеристики досліджуваних схем у різних експлуатаційних режимах. Встановлено, що найбільш раціональним є впровадження комбінованої системи «електричний котел + тепловий насос». Таке рішення забезпечує скорочення споживання електричної енергії на 35–50% (14,0–19,0 тис. кВт·год за опалювальний період) у порівнянні з моно-системою електроопалення. Розрахунковий економічний ефект від модернізації складає 45–58 тис. грн на рік.

Ключові слова: система тепlopостачання, електричний котел, тепловий насос, енергоефективність, погодозалежне регулювання.

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

ABSTRACT

Solianyuk M. "Modernization of the Heating System of a Residential Building Based on Smart Thermal Grid Technologies".

Master's thesis for obtaining a master's degree in specialty 144 – "Heat Power Engineering" (educational program: "Heat Power Engineering"). – Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Ministry of Education and Science of Ukraine, Mykolayiv, 2025.

To determine the energy efficiency of electric heating compared to traditional heat sources, a comparative analysis of four system configurations for a residential building was carried out: standalone systems based on a gas or electric boiler, and hybrid systems "gas boiler + heat pump" and "electric boiler + heat pump" utilizing weather-dependent control. Empirical dependencies of the coefficient of performance (COP) and heat load were derived, enabling heating system calculations that account for outdoor air temperature and the heat carrier temperature schedule. The operating characteristics of the investigated schemes were determined under various operating modes. It was established that the implementation of a hybrid "electric boiler + heat pump" system is the most rational solution. This configuration reduces electricity consumption by 35–50% (14.0–19.0 thousand kWh per heating season) compared to a standalone electric heating system. The estimated economic benefit of this modernization amounts to 45–58 thousand UAH per year.

Keywords: heating system, electric boiler, heat pump, energy efficiency, weather-dependent regulation.

					BKP.144.6241mx.05.00.ПЗ	Лист
						5
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ	8
ВСТУП	9
1. ЗАГАЛЬНИЙ РОЗДІЛ.....	12
1.1. Сучасні Smart Thermal Grid технології та їх компоненти.	12
1.2. Енергоефективність та оптимізація систем теплопостачання житлових будівель.....	17
1.3. Досвід впровадження та економічне обґрунтування Smart Thermal Grid.	20
1.4. Постановка мети та завдань дослідження.....	22
1.5. Висновки по розділу 1.....	23
2. ТЕОРЕТИЧНИЙ РОЗДІЛ.....	26
2.1. Основні методи дослідження.	26
2.2. Методи оцінки споживання теплової та електричної енергії.	28
2.3. Коротка характеристика теплотехнічного обладнання системи теплопостачання.	31
2.4. Висновки по розділу 2.....	41
3. РОЗРАХУНКОВИЙ РОЗДІЛ.....	43
3.1. Аналіз метеорологічних даних.....	43
3.2. Загальна характеристика об'єкта дослідження.....	44
3.3. Теплотехнічний розрахунок будинку.....	49
3.4. Розробка технічних рішень системи теплопостачання.	52
3.5. Висновки по розділу 3.....	56
4. ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ	59
4.1. Моделювання характеристик системи опалення в залежності від зміни температури зовнішнього повітря.	59
4.2. Оцінка економії коштів за рахунок застосування схемних рішень для системи опалення по місяцях за опалювальний період.....	68
4.3. Оцінка економії коштів за рахунок застосування схемних рішень для системи опалення за опалювальний період протягом трьох років.	74

					ВКР.144.6241мх.05.00.ПЗ	Лист
						6
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

4.4. Висновки по розділу 4.....	75
5. РОЗДІЛ 3 ОХОРОНИ ПРАЦІ.....	78
5.1. Заходи з охорони праці при експлуатації котелень. Нормативна база та загальні положення.....	78
5.2. Електробезпека та експлуатація електроустановок.....	80
5.3. Організаційно-технічні заходи та розслідування інцидентів.	81
5.4. Висновки по розділу 5.....	82
ВИСНОВКИ	84
ЛІТЕРАТУРА	86

					ВКР.144.6241мх.05.00.ПЗ	Лист
						7
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ

AI – штучний інтелект;

COP – coefficient of performance;

DH – District Heating;

IT – інформаційні технології;

ML – машинне навчання;

OT – операційні технології;

RL – Reinforcement Learning;

SCADA – Supervisory Control And Data Acquisition;

SL – Supervised Learning;

STG – Smart Thermal Grid;

ВДЕ – відновлювані джерела енергії;

ГВП – гаряче водопостачання;

ДСТУ – Державний стандарт України;

ЖК – житловий комплекс;

ІТП – індивідуальний тепловий пункт;

КВПіА -контрольно-вимірювальні прилади і автоматика;

ККД – коефіцієнт корисної дії;

ПЕР – паливно-енергетичні ресурси;

ПРА – пускорегулювальний апарат;

СЦТ – система централізованого теплопостачання;

ТЕЦ – теплоелектроцентрально;

ТЕС – теплова електрична станція;

ТН – тепловий насос;

ЦТП – центральний тепловий пункт.

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

ВСТУП

Сучасний стан енергетичної галузі вимагає докорінного перегляду підходів до теплопостачання житлового сектору, який залишається одним із найбільших споживачів енергоресурсів. В умовах зростання вартості традиційного палива, зношеності існуючих мереж та необхідності декарбонізації економіки, традиційні системи опалення втрачають свою ефективність через високу інерційність та неможливість гнучкого регулювання. Тому нагальною потребою стає перехід до інтелектуальних систем управління енергією, здатних забезпечити раціональне використання ресурсів, інтеграцію відновлюваних джерел та надійність постачання при збереженні комфортних умов для мешканців.

Модернізація системи теплопостачання житлової будівлі на основі технологій Smart Thermal Grid дозволяє оптимізувати графіки навантажень, знизити експлуатаційні витрати та реалізувати потенціал будівлі як активного учасника енергосистеми. У даній роботі розглядаються технічні рішення такої модернізації, проводиться аналіз метеорологічних факторів та обґрунтовується економічна доцільність впровадження інтелектуальних алгоритмів керування електроопаленням.

Метою дослідження є визначення ефективності системи електричного опалення на основі технологій Smart Thermal Grid в порівнянні із традиційними рішеннями.

Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати такі задачі:

- 1) проаналізувати кліматичні характеристики регіону будівництва для уточнення розрахункових параметрів мікроклімату та теплових навантажень.
- 2) обґрунтувати методику теплотехнічного розрахунку будівлі та визначити вплив зовнішніх факторів на енергоспоживання системи опалення.
- 3) здійснити порівняльний аналіз енергетичної ефективності запропонованих систем електричного опалення та традиційних джерел теплопостачання.

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

4) виконати техніко-економічне обґрунтування доцільності впровадження найбільш раціонального варіанту системи.

Об’єктом дослідження є система теплопостачання житлової будівлі.

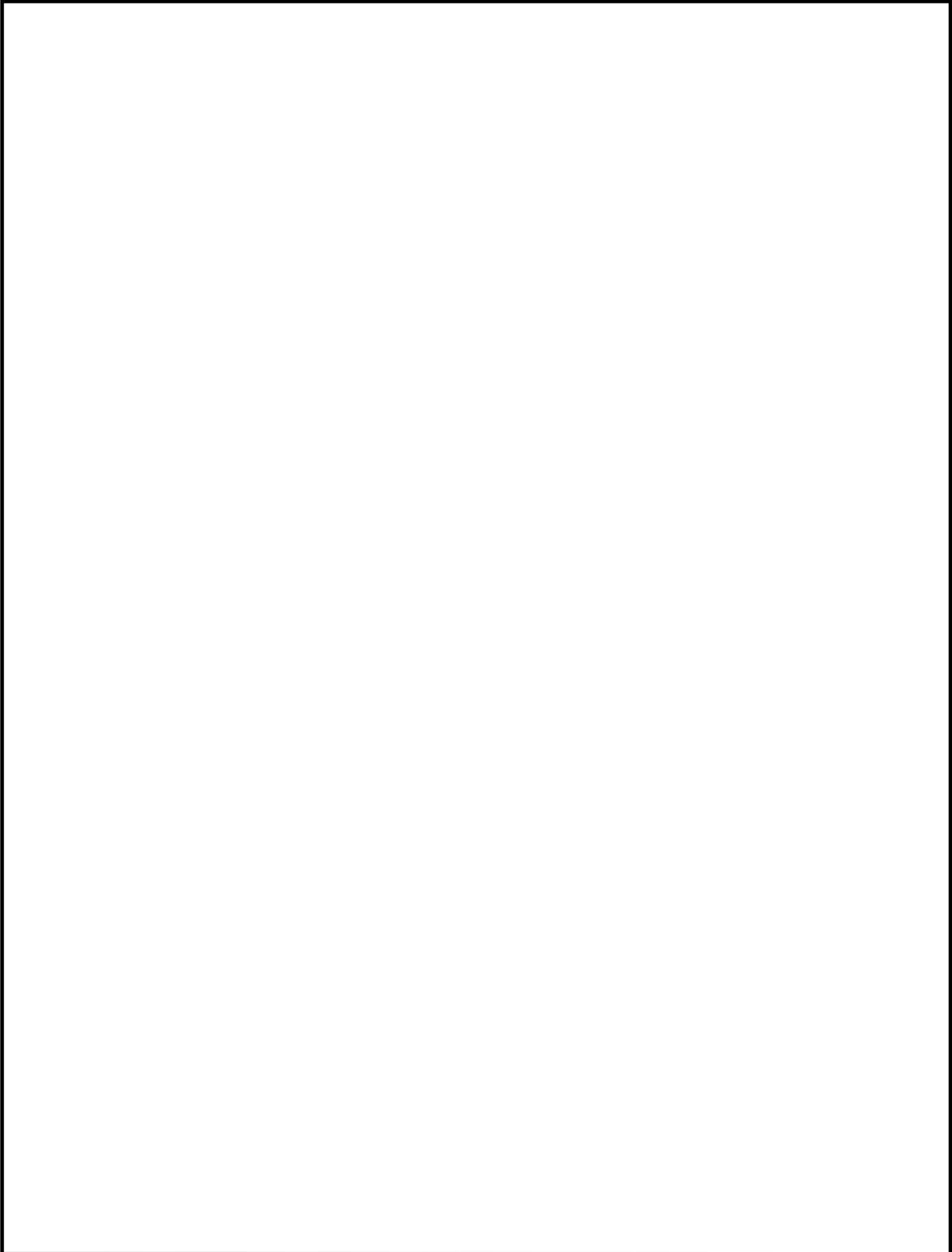
Предметом дослідження є характеристики системи опалення житлової будівлі.

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

Наукова новизна одержаних результатів.

Встановлено, що розроблене схемне рішення, а саме застосування електричного котла для системи опалення житлового будинку доцільне при комбінованому застосуванні разом із тепловим насосом, з урахуванням погодозалежного режиму роботи обладнання, що, в свою чергу, забезпечує зниження витрат на опалення до 50 %, в порівнянні з традиційними схемами опалення.

Структура та обсяг кваліфікаційної роботи. Робота складається зі вступу, п’яти розділів, висновків, списку використаних джерел з 46 найменувань. Загальний обсяг роботи складає 91 сторінок, містить 39 рисунків та 3 таблиці.



					ВКР.144.6241мх.05.01.ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
					Загальний розділ	Літ.	Арк.	Аркушів
Студент	Соляник М.Ю.							
Керівник	Кобалава Г.О.							
Консульт.						НУК		

1. ЗАГАЛЬНИЙ РОЗДІЛ

1.1. Сучасні Smart Thermal Grid технології та їх компоненти.

Сектор опалення та охолодження є одним із найбільших споживачів енергії у світовій економіці, а також одним із найбільш консервативних та найменш ефективних сегментів енергетичної інфраструктури. Модернізація систем теплопостачання житлового фонду, особливо в умовах існуючої, часто застарілої централізованої інфраструктури, є стратегічним імперативом для досягнення цілей декарбонізації, підвищення енергетичної ефективності та забезпечення енергетичної безпеки.

Концепція Smart Thermal Grid (STG), або інтелектуальної теплової мережі, являє собою необхідний еволюційний перехід від традиційного лінійного теплопостачання до гнучкої, цифрової, двонаправленої системи. STG розглядається як розширення загальної концепції Smart Grid, адаптована для теплового сектору [1]. Вона передбачає не лише механічну заміну труб та котлів, але й глибоку інтеграцію інформаційних технологій (ІТ) та операційних технологій (ОТ) для забезпечення активного управління попитом та максимального використання відновлюваних джерел енергії (ВДЕ). Така інтеграція дозволяє системі швидко реагувати на зміну зовнішніх умов, динаміку ринку електроенергії та потреби кінцевих споживачів, що є неможливим у старих, централізованих системах.

Модернізація існуючих житлових будівель, яка є наріжним каменем енергетичної політики в багатьох країнах, вимагає не просто підвищення ізоляції, а й інтелектуального управління тепловими потоками. Впровадження STG на рівні будівель, мікрорайонів та міст є основою для побудови стійкої, економічно доцільної та екологічно чистої енергетичної системи майбутнього.

STG – це інтегрована інфраструктура, що забезпечує оптимізоване виробництво, розподіл та споживання теплової енергії за допомогою цифрових

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

комунікацій, датчиків та інтелектуальних систем управління [1]. Ключовим архітектурним трендом у розвитку STG є поступовий перехід до низькотемпературних систем, що відображено в еволюції централізованого теплопостачання (DH – District Heating).

Еволюція DH-систем демонструє стратегічний рух до зниження робочих температур, що є основою STG. Системи четвертого покоління (4GDH) та п'ятого покоління (5GDH) становлять сучасний технологічний горизонт.

4GDH (Четверте покоління – Low-Temperature District Heating).

Ця концепція характеризується зниженням робочої температури подачі до рівня, максимально наближеного до фактичних потреб кінцевого споживача, зазвичай у діапазоні 60–70°C [2]. Таке зниження температури має подвійний ефект: воно значно зменшує теплові втрати у мережі та полегшує інтеграцію низькоякісних (низькотемпературних) джерел тепла, таких як надлишкове тепло від промислових процесів, центрів обробки даних або масштабних теплових насосів [2]. Для класифікації як 4GDH система повинна використовувати розумну інтеграцію для максимізації загальної ефективності та широкого використання локальних відновлюваних джерел енергії.

5GDH (П'яте покоління – Neutral Loop).

Системи 5GDH є наступним, більш радикальним кроком у розвитку STG. Вони розподіляють тепло при ще нижчих температурах, часто в діапазоні 10–25°C, відомому як «нейтральна петля» [3]. Це не просто послідовне поліпшення, а зміна архітектури мережі. Ключові особливості 5GDH включають:

1. Бі-дирекційні мережі. Мережі використовують двонаправлені труби та сучасну інфраструктуру контролю та зв'язку.
2. Розподілені теплові насоси. Оскільки температура в мережі є низькою, кінцеві користувачі (будівлі) повинні використовувати додаткові розподілені теплові насоси для підвищення температури до необхідного рівня [3].
3. Активні користувачі. Найважливішою відмінністю є те, що користувачі можуть функціонувати як споживачі (видобуваючи тепло з мережі), так і як

					ВКР.144.6241мх.05.01.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		13

генератори (інжектуючи тепло в мережу), або обмінюватися теплом/холодом між собою [3].

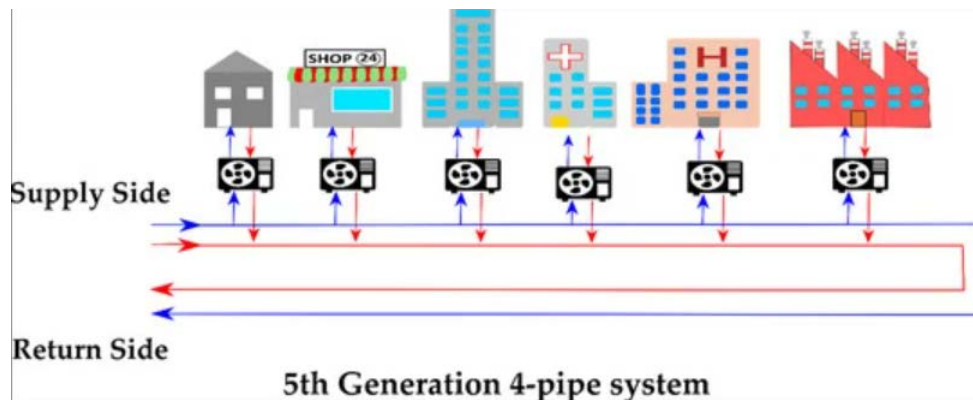


Рис. 1.1. Теплова мережа 5-го покоління із чотиритрубною системою [4].

Перехід до 5GDH – це архітектурна трансформація, яка перетворює житлову будівлю з пасивного споживача на активного учасника ринку енергії. Такий підхід вимагає впровадження складних регуляторних механізмів для двостороннього обліку та динамічної взаємодії з мережею, що є фундаментом для справжньої інтелектуальної системи. Використання розподілених теплових насосів дозволяє радикально знизити температуру мережі, суттєво зменшуючи теплові втрати при передачі та значно знижуючи вартість встановлення розподільчих контурів [3].

Ключова функція STG полягає у переході від реактивного управління, заснованого на поточних вимірах, до прогностного контролю, що базується на моделюванні майбутнього попиту та пропозиції.

Штучний інтелект (AI) та машинне навчання (ML) відіграють вирішальну роль в оптимізації теплових мереж. AI використовує складний аналіз даних, прогнозне моделювання та алгоритми машинного навчання для прийняття інтелектуальних рішень та мінімізації експлуатаційних витрат [5].

Прогнозування навантаження (Load Forecasting). Точне прогнозування теплового попиту є фундаментальним. Методи керованого навчання (SL – Supervised Learning) широко застосовуються для прогнозування попиту на тепло на основі історичних даних, метеорологічної інформації та інших релевантних

факторів [6]. Наприклад, у дослідженнях, проведених на прикладі домогосподарств Північної Швеції, точність прогнозування досягала 87% [6].

Оптимальний контроль та балансування. Для вирішення надзвичайної складності та масштабу систем централізованого теплопостачання (проблема, відома як "прокляття розмірності") використовується навчання з підкріпленням (RL – Reinforcement Learning), зокрема алгоритм Q-learning. RL підходить для розробки оптимальних стратегій контролю та балансування навантаження [6]. Це дозволяє утилітам оптимально розподіляти ресурси та керувати динамікою системи.

Інтелектуальне управління поширюється на кінцеве обладнання, зокрема теплові насоси (ТН), які є важливим елементом інтеграції ВДЕ. Оптимізація роботи ТН за допомогою AI забезпечує, щоб пристрій виробляв рівно стільки тепла, скільки потрібно в певний момент [7].

Правильно обрана крива нагріву є критичною для забезпечення оптимальної ефективності ТН. Для систем із підлоговим опаленням крива повинна бути більш пологою, ніж для систем із радіаторами. Експлуатаційна ефективність та термін служби обладнання залежать від правильного налаштування гістерезису – різниці температур між увімкненням та вимкненням ТН [7]. Занадто малий гістерезис призводить до частого циклування пристрою, що негативно впливає на його довговічність та енергоефективність. Водночас, занадто великий гістерезис спричиняє значні коливання температури в приміщеннях. Оптимальне управління балансує ці параметри, демонструючи, як програмне забезпечення безпосередньо впливає не лише на економію, але й на фізичний стан та термін служби апаратного забезпечення.

STG також дозволяє оптимізувати режим роботи гарячого водопостачання (ГВП). Наприклад, функція автоматичної дезінфекції бака (нагрів води до 60–65°C для знищення бактерій Legionella) може бути запланована на нічний час, коли потреба у гарячій воді найнижча, а вартість електроенергії (для живлення ТН) мінімальна [7]. Це є прямим прикладом керування попитом.

					ВКР.144.6241мх.05.01.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		15

Цифрові технології (IoT, датчики, системи автоматизації)

Інструменти відстеження активності в розумних будівлях дозволяють аналізувати поведінкові патерни мешканців: використання електроприладів, патерни пересування, звички у використанні опалення та кондиціонування [8]. На основі цього аналізу система може автоматично підлаштовуватись під звички та потреби користувача. Практика свідчить, що така автоматизація може суттєво зменшувати витрати, як-от скорочення витрат на освітлення на 20–30% [8]. Цей принцип автоматизації, інтегрований з прогнозуванням теплового навантаження, мінімізує споживання теплової енергії в моменти відсутності попиту.

Інтелектуальна гідравлічна арматура (SV – Smart Valves) є ключовими фізичними компонентами STG, які переводять цифрові команди у гідравлічні дії, і становлять еволюцію клапанів. Інтелектуальні клапани забезпечують динамічний контроль над системою [9].

Окрім динамічного контролю витрати, SV здатні контролювати перепад тиску (ΔP) та, що є критично важливим для енергоефективності, перепад температури (ΔT) [9]. Контроль ΔT допомагає забезпечити, щоб система використовувала теплоносії максимально ефективно, повертаючи його до джерела з найнижчою можливою температурою, що підвищує ефективність генерації.

STG-архітектура неможлива без інтеграції розподіленої генерації та потужних систем зберігання енергії.

Інтеграція ВДЕ часто відбувається на рівні житлових комплексів (ЖК) або окремих будівель, що зменшує навантаження на централізовані системи та підвищує енергонезалежність [10]. Основними елементами є:

1. Сучасні теплові насоси (наприклад, Vitocal, Hajster), включаючи геотермальні системи, можуть бути ефективно інтегровані в мережу STG [11]. Хоча початкова вартість обладнання та монтажу висока, в масштабах житлового

комплексу інвестиція швидко окуповується, оскільки система працює на всіх мешканців.

2. Сонячні панелі (наприклад, Vitovolt) можуть забезпечувати електроенергію для живлення теплових насосів, створюючи високоефективну інтегровану систему. Інтеграція таких систем є внеском не лише у підвищення енергоефективності, але й у розвиток енергетичної незалежності будівлі та мікрорайону [10, 11].

3. Теплові акумулятори (ТА) є критично важливими для STG, оскільки вони вирішують проблему інтермітентності ВДЕ та забезпечують гнучкість системи. ТА тимчасово зберігають енергію шляхом нагрівання або охолодження різних середовищ для подальшого повторного використання, функціонуючи як «теплові батареї» [12].

1.2. Енергоефективність та оптимізація систем теплопостачання житлових будівель.

Оптимізація системи теплопостачання житлових будівель вимагає комплексного підходу, що включає оцінку, технічні втручання на рівні будівлі та інфраструктурні заходи.

Методи та критерії оцінки енергоефективності

Оцінка ефективності STG-проектів виходить за рамки простих вимірювань споживання. Необхідне використання багатофакторних ключових показників ефективності (KPIs), що відповідають принципам SMART [13].

Аналіз виділяє шість основних категорій KPI, які використовуються для оцінки енергоефективності та комфорту будівлі та її енергопостачальних систем [14]:

1. Енергетичні KPIs. Включають показники питомого енергоспоживання (наприклад, питоме енергоспоживання при охолодженні EP_{cuse} , яке

розраховується в кВт·год/м² або кВт·год/м³ залежно від кондиціонованої площі/об'єму) [15].

2. Економічні KPIs. Покривають капітальні та експлуатаційні витрати, а також традиційні показники, такі як термін окупності інвестицій [14]. При виборі теплового обладнання в Україні основними критеріями залишаються його вартість та прогнозовані витрати на енергоносії.

3. Комфорт KPIs. Оцінюють якість внутрішнього середовища (рівномірність температури, якість повітря), що безпосередньо впливає на задоволеність мешканців.

4. Екологічні KPIs. Оцінюють вплив на навколишнє середовище, наприклад, зниження викидів CO₂.

5. Якість даних KPIs. Критичні для STG, оскільки оцінюють точність, повноту та надійність даних, необхідних для роботи систем AI/ML.

6. Продуктивність систем будівлі KPIs. Вимірюють ефективність роботи конкретного обладнання (наприклад, час відгуку інтелектуальних клапанів, точність прогнозного контролю).

Системний підхід до KPI, що охоплює комфорт, економіку та продуктивність, є ключовим для оцінки успішності модернізації, особливо при залученні міжнародного фінансування.

Модернізація системи опалення багатоквартирних житлових будинків є комплексним процесом, що дозволяє оптимізувати використання енергоресурсів, зменшити суми в платіжках та підвищити комфорт.

Процес модернізації в Україні має починатися з встановлення індивідуального теплового пункту (ІТП). ІТП є обов'язковим цифровим шлюзом, що підключає внутрішньобудинкову систему до зовнішньої теплової мережі. Він розташовується у відособленому приміщенні та обслуговує один будинок або його частину [16].

Реконструкція ІТП досягається завдяки встановленню нового, сучасного обладнання, а саме:

- Регулюючий клапан теплового потоку з електроприводом;
- Регулятор перепаду тиску;
- Сучасне насосне обладнання.

Встановлення цього обладнання забезпечує погодозалежне регулювання параметрів внутрішньобудинкової системи опалення. Це не лише забезпечує комфортну температуру, але й призводить до суттєвої економії енергоресурсів для мешканців.

Проектування ІТП має суворо відповідати національним будівельним нормам, зокрема ДБН В. 2.5-67:2013 («Опалення, вентиляція та кондиціонування») та ДБН В. 2.5-39:2008 («Теплові мережі»).

Для досягнення максимальної енергоефективності, встановлення ІТП повинно супроводжуватись додатковими заходами, такими як балансування гідравлічної системи будівлі та теплоізоляція трубопроводів у неопалювальних приміщеннях. Заміна теплової ізоляції також є ефективним рішенням для зниження тепловтрат.

Гідравлічне балансування є невід'ємною частиною модернізації. Воно вирішує дві ключові проблеми: забезпечення рівномірного комфортного обігріву в усіх приміщеннях (усуваючи проблему "перегрітих" та "недогрітих" квартир) та зниження загальних енерговитрат завдяки ефективному використанню теплових ресурсів.

Мінімізація теплових втрат має вирішальне значення для підвищення загальної ефективності системи теплопостачання.

У традиційних централізованих системах значні втрати теплоти відбуваються у розподільних трубопроводах, особливо при прокладці у непрохідних каналах. Навіть при розрахунку за нормативними значеннями, врахування втрат конструктивними елементами мереж вимагає застосування додаткових коефіцієнтів (наприклад, 1,15 до питомих втрат) [17].

Найбільш радикальний спосіб зниження теплових втрат полягає у зміні робочих параметрів системи. Перехід на низькотемпературні мережі 4GDH та

					ВКР.144.6241мх.05.01.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		19

5GDH автоматично та суттєво знижує втрати тепла при передачі, оскільки теплові втрати прямо пропорційні різниці температур між теплоносієм та зовнішнім середовищем [2, 3].

У 5GDH, де використовуються розподілені теплові насоси, мережа працює на температурі, близькій до температури ґрунту (10–25°C), що майже усуває втрати, які є типовими для високотемпературних систем (80–130°C). Таким чином, хоча теплоізоляція залишається важливою (особливо в ІТП та неопалювальних приміщеннях), стратегічне зниження робочої температури є більш ефективним системним заходом.

1.3. Досвід впровадження та економічне обґрунтування Smart Thermal Grid.

Впровадження STG є капіталомістким процесом, що вимагає детального техніко-економічного аналізу та розуміння міжнародного досвіду для подолання локальних бар'єрів. Міжнародний досвід демонструє кількісні переваги переходу до інтелектуальних низькотемпературних теплових мереж.

Данія є піонером у сфері централізованого теплопостачання. Перехід від 3GDH до 4GDH, як проаналізовано на прикладі міста Ольборг (Aalborg), призвів до значних системних поліпшень. Загальне споживання первинної енергії у всій енергосистемі знизилося приблизно на 4,5%, а системні витрати зменшилися на 2,7% [18]. У Копенгагені програми модернізації були зумовлені необхідністю заміни індивідуальних котлів у багатоквартирних будинках для підвищення безпеки та комфорту [19].

Проект у Хеерлені (Heerlen, Нідерланди) є видатним прикладом 5GDH. Система використовує затоплену вугільну шахту як низькотемпературне геотермальне джерело. Завдяки максимальному використанню відновлюваних джерел та відпрацьованого тепла, модернізована система скоротила енергоспоживання на 30% порівняно з конвенційними методами

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

теплопостачання. Нові користувачі легко підключаються до бі-дирекційного трубопроводу за допомогою теплообмінників у підвалах, що сприяє масштабуванню [3]. Подібні пілотні проєкти розвиваються у Франції, Німеччині та Великій Британії.

Європейська комісія через Об'єднаний дослідницький центр проводить постійний аналіз проєктів Smart Grid для визначення отриманих уроків та поточного стану розвитку, що слугує цінним орієнтиром для планування інфраструктури.

В Україні зростає інтерес до інтеграції STG-елементів на рівні нового будівництва. Інвестори все частіше звертають увагу на «зелені» житлові комплекси, які включають теплові насоси та сонячні панелі. Це відображає готовність приватного сектору до прийняття висококапітальних, але високоефективних рішень. Попри високу початкову вартість обладнання, інвестиція в масштабах житлового комплексу швидко окуповується за рахунок розподілу капітальних витрат між великою кількістю користувачів.

Аналіз показує, що високі початкові витрати доцільно впроваджувати у масштабі мікрорайонів або житлових комплексів (так звані microgrid рішення). Такий підхід дозволяє швидше окупити інвестиції, оскільки фінансове навантаження розподіляється між більшою кількістю кінцевих користувачів. Техніко-економічний аналіз повинно детально оцінювати чисту приведену вартість (NPV) та внутрішню норму дохідності (IRR) на основі прогнозованого зниження питомого енергоспоживання ($\text{кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^2$) та стабілізації витрат на енергоносії.

Впровадження STG в Україні стикається з низкою комплексних бар'єрів, посилених військовими діями.

Аналіз виділяє кілька ключових груп бар'єрів, які ускладнюють реалізацію енергоефективних заходів [20]:

					ВКР.144.6241мх.05.01.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		21

- Економічні. Основною перешкодою є дефіцит інвестицій, висока початкова вартість сучасних рішень та проблеми з тарифоутворенням, яке не завжди відображає реальні витрати та переваги інноваційних систем.

- Технічні та організаційні. Існуюча інфраструктура часто є застарілою, що ускладнює інтеграцію з високотехнологічними цифровими STG-системами. Також існує дефіцит кваліфікованого інженерного персоналу, здатного проєктувати, встановлювати та експлуатувати AI-орієнтовані теплові мережі.

- Нормативно-правові та соціальні. Необхідність адаптації національного законодавства до європейських вимог та іноді низький рівень довіри до інноваційних проєктів з боку споживачів.

Військовий стан значно загострив технічні та економічні виклики, включаючи масове руйнування енергетичної інфраструктури. Однак цей руйнівний фактор також виступає каталізатором змін. Технології Smart Grid розглядаються як основа для відновлення енергосистеми, оскільки вони дозволяють створювати більш стійкі, децентралізовані енергетичні системи (microgrids), які менш вразливі до зовнішніх атак.

1.4. Постановка мети та завдань дослідження

Модернізація системи теплопостачання житлових будівель на основі технологій Smart Thermal Grid є не лише технічним оновленням, а й стратегічною необхідністю, що забезпечує енергетичну стійкість та економічну ефективність.

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

Метою дослідження є визначення ефективності системи електричного опалення в порівнянні із традиційними рішеннями.

Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати такі задачі:

					ВКР.144.6241мх.05.01.ПЗ	Лист
						22
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

5) проаналізувати кліматичні характеристики регіону будівництва для уточнення розрахункових параметрів мікроклімату та теплових навантажень.

6) обґрунтувати методику теплотехнічного розрахунку будівлі та визначити вплив зовнішніх факторів на енергоспоживання системи опалення.

7) здійснити порівняльний аналіз енергетичної ефективності запропонованих систем електричного опалення та традиційних джерел теплопостачання.

8) виконати техніко-економічне обґрунтування доцільності впровадження найбільш раціонального варіанту системи.

Об’єктом дослідження є система теплопостачання житлової будівлі.

Предметом дослідження є характеристики системи опалення житлової будівлі.

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

1.5. Висновки по розділу 1.

1) Розглянуто розвиток та інтеграцію розумних енергетичних систем, зосереджуючись на еволюції централізованого теплопостачання від третього до четвертого (4GDH) і п'ятого (5GDH) поколінь. Вказано ключові показники ефективності (KPIs) для оцінки сталості та енергоефективності як розумних міст, так і окремих будівель, часто через впровадження інформаційно-комунікаційних технологій (ІКТ) та пристроїв, таких як розумні клапани. Крім того, розглянуто застосування машинного навчання для прогнозування теплового навантаження та оптимізації роботи систем, а також проблеми та переваги використання теплових акумуляторів.

2) Визначені мета та завдання дослідження, які охоплюють вирішення питань підвищення енергетичної ефективності систем опалення житлових об'єктів.

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

					ВКР.144.6241мх.05.02.ПЗ								
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Теоретичний розділ				Літ.	Арк.	Аркушів		
Студент		Соляник М.Ю.											
Керівник		Кобалава Г.О.											
Консульт.													
					НУК 25								

2. ТЕОРЕТИЧНИЙ РОЗДІЛ

2.1. Основні методи дослідження.

Загальнонаукові методи дослідження.

Формалізація застосовано для відображення об'єкта і предмета дослідження мовою математики. Такий метод застосовано при математичному моделюванні робочих процесів. При цьому було застосовано низку відомих залежностей та фізичних законів.

Гіпотетико-дедуктивний метод – виведення дедуктивно пов'язаних гіпотез із наступним висновком про вибір напрямків дослідження. Висунені гіпотези відповідають логічній послідовності: для застосування енергозберігаючих технологій.

Порівняння – застосовано для визначення якісних і кількісних характеристик предмета дослідження, а саме дозволяє виявити і зіставити та провести аналогії щодо технологій енергозбереження, а також дозволяє визначити тенденції розвитку таких технологій.

Аналіз і синтез – застосовано для аналізу літературних джерел та відомих експериментальних даних для визначення об'єкту та предмету дослідження, а також для формування узагальнень і висновків на основі яких, в свою чергу, сформульовані основні наукові результати.

Методи індукції та дедукції – застосовано для співставлення результатів математичного моделювання з отриманими експериментальними даними. Дозволяє узагальнити результати експерименту і зробити висновки про залежності, що характерні для протікання робочих процесів.

Системний підхід – застосовано загальнонаукові методологічні принципи, в основі яких лежить розгляд та аналіз об'єкту дослідження.

Спеціальні методи дослідження.

Математично-статистичний – застосовано для математичної обробки отриманих експериментальних даних. Перевірено математичну

модель на адекватність і показано, що наведену і розроблену математичну модель можна застосовувати для моделювання.

Порівняльно-розрахунковий – застосовано для визначення термодинамічної та енергетичної ефективності системи. У дослідженні використовується обчислювальна модель, розроблена автором.

Параметри зовнішнього повітря (температура $t_{зп}$) отримано з електронного ресурсу "meteomanz.com". Сайт містить базу даних гідрометеорологічних умов за даними зареєстрованих метеорологічних станцій. База даних ресурсу містить дані починаючи з 2000 року. Дата та час вказані в форматі UTC. Для отримання необхідних даних слід ввести місце знаходження станції. В Україні розташовано близько 50 станцій, які надають дані в базу даних.

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

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

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

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

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

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

Для аналізу впливу погодних умов доречно встановити залежність температури зовнішнього повітря (погодозалежний режим роботи котельної).

За допомогою "meteomanz.com" отримано дані стосовно опалювальних періодів трьох років: з 2021 по 2024 роки з інтервалом 3 години (рис. 2.1). Отримані дані метеорологічних параметрів (температура повітря, його вологість, тиск, вітер та ін.) в табличній формі (рис. 2.2).

 Meteomanz.com									
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. Приклад отримання гідрометеорологічних даних для заданого опалювального періоду.

2.2. Методи оцінки споживання теплової та електричної енергії.

Загальне електро/тепло споживання народного господарства у країні обумовлене чисельністю різного роду споживачів – від невеликих побутових приладів до великих підприємств. Основними методами планування та аналізу енерговикористання в народному господарстві є енергетичні баланси. Вони

дозволяють встановлювати необхідні величини і співвідношення між споживанням і отриманням енергоресурсів. Під енергобалансом розуміють систему взаємопов'язаних показників, які відображають кількісну відповідність між надходженням і використанням усіх видів енергетичних ресурсів. Він є основним узагальнюючим документом для комплексного аналізу використання енергоресурсів і планування заходів для підвищення ефективності енерго-споживання. Таким чином, розробка енергетичного балансу дозволяє створити науково-технічну основу для нормалізації енергоспоживання в народному господарстві. Залежно від масштабу задач, що розв'язуються, енергетичні баланси поділяються на баланси окремих агрегатів, груп агрегатів або установок і баланси окремих технологічних процесів, дільниць, цехів, підприємств, організацій. Енергобаланси окремих агрегатів і установок складаються з метою аналізу ефективності енерговикористання на виробництві, встановлення раціональних режимів роботи енергоустановок, а також для розробки обґрунтованих, прогресивних норм питомих витрат енергії на одиницю продукції, яка випускається відповідними агрегатами. За своїм призначенням енергобаланси поділяються на **фактичні та планові**.

Фактичні баланси є звітними і відображають існуючий стан використання енергії з усіма виправданими та невиправданими її витратами і втратами, при реально досягнутих значеннях питомих витрат енергії

Планові (перспективні) енергобаланси, у свою чергу, можна поділити на нормалізовані і раціоналізовані. Нормалізовані енергобаланси розробляються на основі фактичних балансів з урахуванням прогресивних норм і нормативів витрат і корисного використання енергії. Такі енергобаланси відображають потенційно можливий рівень ефективності енергоспоживання, відносно якого виявляються резерви і намічаються заходи з економії енергоресурсів. Раціоналізовані баланси також складаються на основі фактичних балансів, але з урахуванням проведення всіх реально

					ВКР.144.6241мх.05.02.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		29

можливих у даних умовах виробництва заходів зі зменшення витрат і втрат енергії. Енергетичний баланс складається з дохідної і витратної частини. Кожна з частин балансу складається водночас із однієї або декількох статей. Дохідна частина балансу - це план енергопостачання і показує, якими енергоресурсами, в яких кількостях, від яких джерел (власних або зовнішніх) забезпечується енергоспоживання. Витратна частина – це розрахунки потреб енергоресурсів за видами і показує, на яких ділянках, із якою метою, яка кількість і в яких енергоносіях споживається енергія. При цьому питома вага в загальній величині надходження або витрат енергії, виражена у відсотках, характеризує структуру відповідної дохідної або витратної частини енергобалансу.

Енергетичні баланси, як один із основних інструментів розв’язання задач енергозбереження, дозволяють:

- 1) виявити надмірні витрати енергії і розробити заходи з їх ліквідації;
- 2) визначити напрями реконструкції морально і фізично застарілого устаткування;
- 3) обґрунтувати вибір найбільш економічних видів і параметрів енергоносіїв, які використовуються у виробничих процесах;
- 4) обґрунтувати величину і режими енергоспоживання;
- 5) вибрати раціональні схеми енергопостачання установок тощо.

Енергобаланси оформляються у вигляді таблиць або діаграм. Цифри показують обсяги споживання енергії протягом року (сезону, місяця) окремими виробничими підрозділами (цехами) підприємства, якщо це енергобаланс підприємства. У випадку енергобалансу окремого агрегату або установки цифри відносять до визначеної продуктивності агрегату (його навантаження) або до одиниці продукції, яку він виробляє. Єдиної методики складання і аналізу фактичних енергобалансів агрегатів і установок, а також методики оцінки і нормалізації витрат енергії в агрегатах до сьогодні практично не існує.

2.3. Коротка характеристика теплотехнічного обладнання системи теплопостачання.

Конденсаційний газовий котел Vitodens 100-W, Vitodens 111-W.

Газові конденсаційні котли Vitodens 100-W та Vitodens 111-W з компактними розмірами, малою вагою та низьким рівнем шуму легко вписуються в інтер'єр будь-якого приміщення. Vitodens 111-W з інтегрованою накопичувальною ємністю пошарового нагріву об'ємом 46 л забезпечує високий комфорт приготування гарячої води. Широкий діапазон модуляції потужності. З таким високим значенням коефіцієнту котел ідеально підходить для невеликих квартир і добре утеплених будинків. Завдяки початку роботи з мінімальної потужності знижується експлуатаційний рівень шуму, а також значно зростає експлуатаційний термін служби. Конденсаційний котел дозволяє знизити споживання енергії завдяки використанню тепла відхідних газів. Результат – нормативний ККД складає 109%. Це у свою чергу сприяє економії коштів та збереженню навколишнього середовища. Теплообмінник з нержавіючої сталі. Коли необхідно забезпечити економічність та довговічність за рахунок вибору матеріалів, підходить тільки високоякісна нержавіюча сталь. Тому Vitodens 100-W та 111-W обладнаний теплообмінною поверхнею Inox-Radial із нержавіючої сталі, що здатна забезпечити необхідний рівень надійності та тривалого збереження високого рівня використання теплоти згорання. На теплообмінник надається гарантія на 10 років за умов проведення обслуговування згідно вимог нашої документації. Сенсорний дисплей для підвищення комфорту користування пристроєм Газові конденсаційні настінні котли Vitodens 100-W та Vitodens 111-W регулюються за допомогою нового LCD – сенсорного дисплею з підсвіткою, який простий у користуванні. Основною перевагою такого типу котлів є широкий діапазон модуляції потужності (1:6) та використання модуляційного циліндричного пальника із нержавіючої сталі.

					ВКР.144.6241мх.05.02.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		31

Табл. 2.1. Основні характеристики котлів типу Vitodens

Газовий одноконтурний котел	Тип	B1HC	B1HC	B1HC
Газовий комбінований котел	Тип	-	B1KC	B1KC
Номинальна теплова потужність 50/30°C		4,7 – 19,0	4,7 – 26,0	5,9 – 35,0
Номинальна теплова потужність 80/60°C		04,3 – 17,4	4,3 – 23,8	5,4 – 32,1
Розміри Довжина x Ширина x Висота	мм	350 x 400 x 700	350 x 400 x 700	350 x 400 x 700
Маса. Газовий одноконтурний котел	кг	35	36	37
Газовий комбінований котел	кг	-	36	38
Клас енергоефективності		A	A	A
Vitodens 111-W	Тип	B1LD	B1LD	B1LD
Номинальна теплова потужність (50/30 °C)	кВт	4,7 – 19,0	4,7 – 26,0	5,9 – 35,0
Номинальна теплова потужність (80/60 °C)	кВт	4,3 – 17,5	4,3 - 23,8	5,4 – 32,1
Номинальна теплова потужність при приготуванні гарячої води	кВт	4,3 – 23,7	4,3 – 29,3	5,4 – 35,0
Розміри Довжина x Ширина x Висота	мм	480 x 600x 900	480 x 600x 900	480 x 600x 900
Висота з коліном димоходу	мм	1060	1060	1060
Маса	кг	62	62	64
Об'єм ємнісного водонагрівача	л	46	46	46
Клас енергоефективності		A	A	A

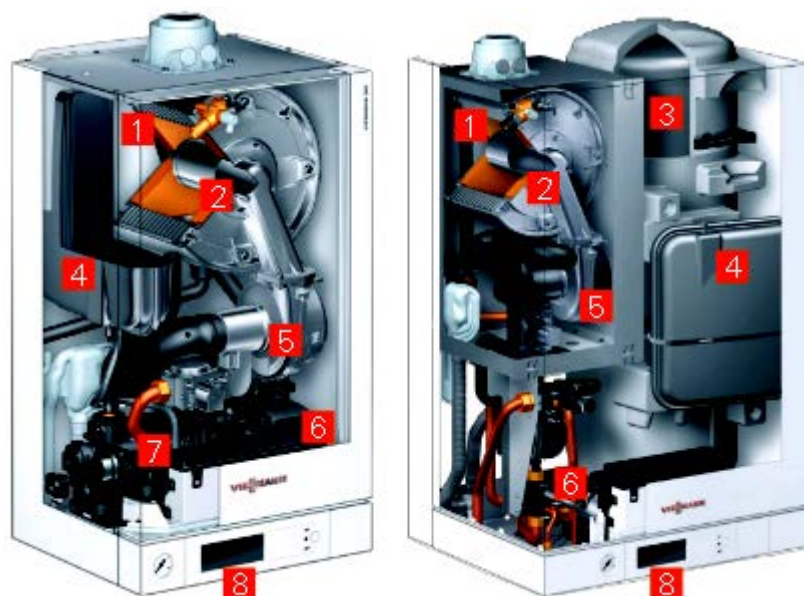


Рис 2.3. Принципова конструкція котла типу Vitodens: 1 - теплообмінник Inox-Radial з нержавіючої сталі; 2 - модульований циліндричний пальник; 3 - накопичувальна ємність для гарячої води, з нержавіючої сталі об'ємом 46 л; 4 - мембранний розширювальний бак; 5 - вентилятор з регульованою частотою обертання; 6 - енергоефективний насос; 7 - пластинчатий теплообмінник для гарячої води; 8 - сенсорний рідкокристалічний дисплей.

Двоконтурний електричний котел NEON 30 кВт 380В. Призначений для тепlopостачання та нагріву води житлових та виробничих приміщень з примусовою циркуляцією теплоносія (дистильованої води або антифризу для систем опалення) у закритій (автономній) системі опалення та автоматичної підтримки заданого температурного режиму. Автоматика електродкотла Neon дозволяє регулювати температуру в системах «тепла підлога», а також у системах із накопичувальними ємностями. Можливе застосування електродкотла за двотарифної системи обліку електроенергії. У процесі експлуатації електричного водогрійного приладу Neon WCSM/WH необхідно регулярно спостерігати за його роботою. Не допускати встановлення WCSM/WH на об'єктах, де відсутні люди, які контролюють стан та роботу

обладнання. Електричний котел Неон може використовуватися автономно або спільно з котлами, що працюють на інших видах палива (газ, дизель, дрова, вугілля). Електричний котел Неон нагріває теплоносії у системі опалення до заданої температури за допомогою трубчастих нагрівальних елементів (далі ТЕН).

Характеристики WCSM\WH:

- 1) потужність - 30,0 кВт;
- 2) кількість ступенів нагрівання - 2 (15кВ+15кВт);
- 3) напруга мережі - 380 В;
- 4) опалювана площа до 300 м²;
- 5) протока води - 17,1 л/хв;
- 6) кількість контурів Двоконтурний (опалення + ГВП);
- 7) габаритні розміри - 73х33х19;
- 8) маса (не більше) - 35 кг.

Табл. 2.2. Основні технічні вимоги до електрокотла.

Параметри	WCSM\WH 6	WCSM\WH 9	WCSM\WH 12	WCSM\WH 15
Напруга живлення, В.	220/380			380
Частота струму, Гц.	50			
Потужність, кВт., повна	6	9	12	15
1 ступінь	2	3	4	5
2 ступінь	2	3	4	5
3 ступінь	2	3	4	5
Тип нагрівача	ТЕН			
ККД % не менш.	99			
Макс.температура теплоносія, С°	80			
Макс. надлишковий тиск, МПа.	0,2			
Місткість баку не більше, л.	Обсяг баку проточного = 6; обсяг баку водонагрівача = 6.			
Різьба приєднувальних патрубків, дюйм.	котел ¾ дюйма, проточний нагрівач води ½ дюйма			
Маса, кг., не більше	25			
Габаритні розміри	700*375*220			

Потужність, кВт	6	9	12	15
Перетин мідного проводу, 220В мм2	2х6	2х10	-	-
Перетин мідного проводу, 380В мм2	4х2,5	4х2,5	4х4	4х4
Автоматичний вимикач, 220в	1х32	1х50А	-	-
Автоматичний вимикач, 380в	3х25А	3х25	3х25А	3х32А

Основні переваги електрокотла:

- 1) безшумна робота котла (встановлений силовий симісторний блок);

- 2) термостат для плавного регулювання температури контуру опалення від 30 до 90 ° С;
- 3) контур ГВП регулюється за допомогою клавiш ступенів нагрівання та регулювання напору проточної води: від 30 до 70 ° С;
- 4) цифровий дисплей для зорового контролю роботи пристрою;
- 5) вбудований циркуляційний насос;
- 6) контур ГВП (гаряче водопостачання) підігрівається через вторинний теплообмінник, розташований усередині первинного теплообмінника.



Рис 2.4. Принципова конструкція електричного котла Neon.

Будова та принцип роботи. Електрокотел поставляється в компактному сталевому корпусі (рис. 2.4), прямокутної форми, де змонтований сталевий резервуар з блоком ТЕНів, патрубками входу та виходу (призначені для приєднання водонагрівача до системи опалення), а також резервуар виконаний з нержавіючої сталі з блоком ТЕНів нагріву проточної води для побутових потреб.

Робота котла в режимі опалення полягає в наступному:

- холодна вода подається помпою через нижній патрубок у бак, нагрівається ТЕН і через вихідний патрубок надходить до системи опалення;
- температуру теплоносія, задають за допомогою термостата, для ручного регулювання температури та контролюють за допомогою термометра;
- на панелі керування також розташовані три клавіші ступенів потужності котла в режимі опалення.

Задана температура нагрівання теплоносія підтримується автоматично. Після відкриття крана ГВП автоматика котла виключає нагрів теплоносія в системі опалення, і вмикає блок ТЕН проточного водонагрівача. Контролер роботи проточного водонагрівача визначає оптимальну потужність роботи ТЕНу. Після закриття крана котел автоматично перейде у встановлений раніше режим. Режим роботи котла «літо» дозволяє повністю відключити нагрів теплоносія в системі опалення та циркуляційна помпа. У цьому режимі може працювати лише проточний водонагрівач після відкриття крана гарячої води. Для більш комфортного використання ГВП котел у режимі очікування підігріває воду в баку проточного водонагрівача до 40 градусів, і підтримує цю температуру у всіх режимах роботи котла (крім режиму "off") Перемикач у положенні "off" повністю вимкне котел.

Котли цієї серії оснащені циркуляційним насосом, термостатом, що дозволяє плавно регулювати температуру в межах 30-90 °С для опалення та цифровим дисплеєм, для зорового контролю роботи пристрою (рис. 2.5).

У складі даної серії випускаються котли потужністю від 18 до 30 кВт, які мають 3 ступені нагріву. Підключення можливе під електричну мережу 380В.

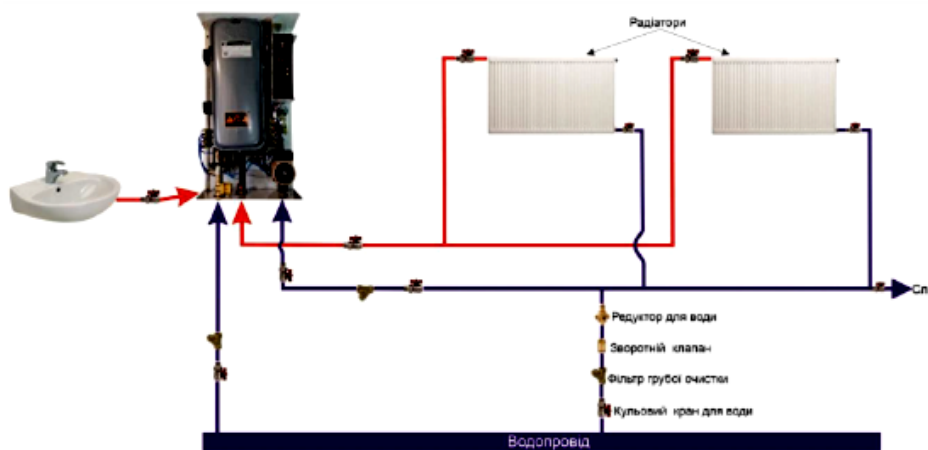


Рис 2.5. Схема опалення DUOS на базі електрокотла Neop.

VITOSOL 100-FM. Плоскі колектори для використання сонячної енергії. Абсорбер колекторів Vitosol, що має селективне покриття 100-F і Vitosol 100-FM забезпечує високий рівень поглинання сонячної енергії. Завдяки мідній трубці, прокладеній у формі меандру, досягається рівномірний відбір тепла від абсорбера.

Термостійкий корпус колектора забезпечений теплоізоляцією та має кришку з геліостекла з низьким вмістом заліза. Гнучкі з'єднувальні труби, герметизовані ущільнювачі, кільцями круглого перерізу, забезпечують надійне паралельне з'єднання максимум 12 колекторів. Комплект підключень з обтискними різьбовими з'єднаннями дозволяє легко з'єднати поле колекторів із системою трубопроводів контуру геліоустановки. У магістралі, що подає контура геліоустановки через комплект занурювальних гільз вливається датчик температури колектора. Колектор доступний у 2 виконаннях.

- 1) Vitosol 100-FM, тип SV2F/SH2F, з перемикаючим шаром абсорбера ThermProtect;
- 2) Vitosol 100-F, тип SV1B/SH1B із спеціальним покриттям абсорбера призначений для прибережних регіонів.

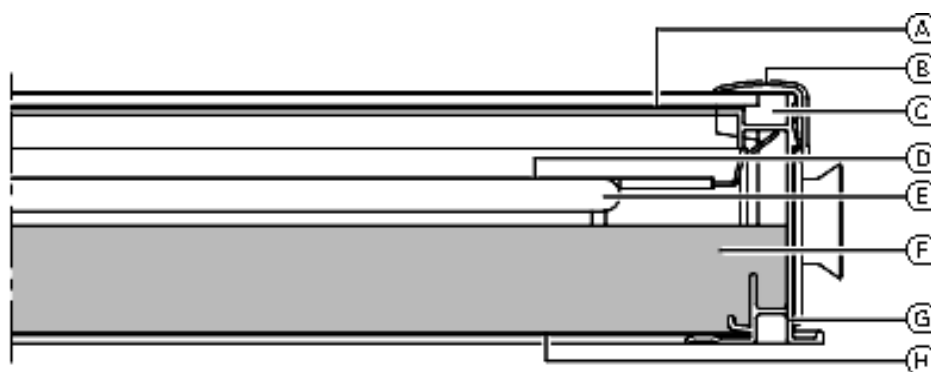


Рис 2.6. Конструкція Vitosol 100-FM: А - кришка з геліостекла 3,2 мм; В - захисний куточок з алюмінію у куточках колектора; С - ущільнення скла; D - абсорбер; Е - мідна трубка у формі меандру; F - теплоізоляція із мінерального волокна; G - рамний профіль з алюмінію; Н - панель основи із сталі з алюмінієво-цинковим покриттям.

Переваги:

- 1) Потужні плоскі колектори для накривного монтажу та монтажу на плоскому даху Виконання Vitosol-FM з функцією відключення при досягненні певної температури ThermProtect для забезпечення безпечної та надійної роботи геліоустановки;
- 2) Абсорбер у формі меандру з вбудованими сполучними колекторами. Можливість паралельного підключення до 12 колекторів;
- 3) Дизайн у вигляді рамки з алюмінію;
- 4) Високий ККД завдяки абсорберу з селективним покриттям, міцної, прозорої кришки зі спеціального скла та високоефективної теплоізоляції;
- 5) Постійна герметичність та висока міцність за рахунок встановленої по периметру алюмінієвої рами та безшовного ущільнення панелей;
- 6) Ударостійка та корозійностійка задня стінка з оцинкованого сталевого листа;
- 7) Зручна для монтажу система кріплень Viessmann із корозійностійких деталей, що пройшли статичні випробування, з нержавіючої сталі та алюмінію – єдина конструкція для всіх колекторів Viessmann;

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

8) Швидке та надійне підключення колекторів завдяки штекерним з'єднанням з гнучкою нержавіючої гофрованої трубою.

Тепловий насос Vitocal 200-s (Теплова потужність 7,02 кВт (в робочій точці 2/35). Основні особливості: - температура подачі до +60°C - погодозалежний регулятор Vitotronic 200 - звукоізований компресор з інверторним керуванням - система діагностики холодильного контуру (RC) - електронний терморегулюючий клапан (EEV) - режим опалення - приготування гарячої води - хладагент R410A - електроживлення 400В - особливо тихі характеристики експлуатації завдяки конструкції з покращеною звукоізоляцією (Advanced acoustics design —AAD) Сертифікат ЕНРА)Технологія - 3,94

Vitocal 200-S – це повітряно-водяний тепловий насос у вигляді спліт-системи. Він відбирає тепло, що міститься в навколишньому повітрі, і знову віддає його на необхідному для опалення рівні температур. При цьому енерговіддача втричі-чотири рази перевищує витрачену приводну енергію. Тепловий насос постачається як чисто опалювальна система або в реверсивному режимі роботи для опалення та охолодження. У комбінації з квартирною системою вентиляції можливе також зручне керування температурою будівлі. Vitocal 200-S особливо підходить для нового будівництва або в бівалентних системах для модернізації. Для підвищення теплопродуктивності можливе об'єднання кількох Vitocal 200-S у каскадну схему.

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

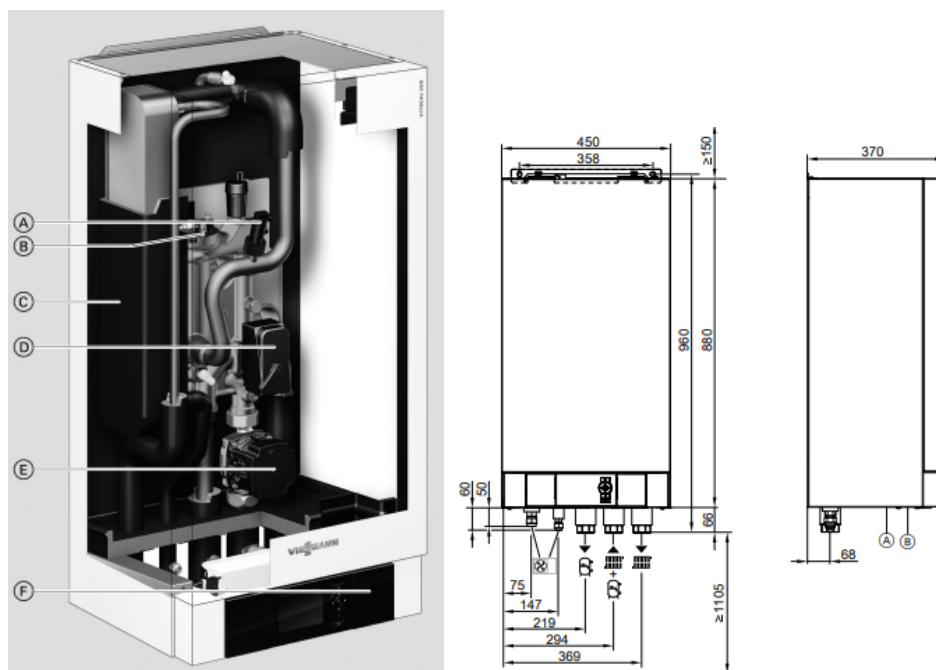


Рис 2.7. Характеристики і внутрішній блок: А - реле потоку; В - проточний водонагрівач (тільки для типу AWB-E-AC/AWB-M-E-AC); С – конденсатор; D - 3-ходовий перемикальний клапан „Опалення/приготування гарячої води“; Е Вторинний насос (високоєфективний циркуляційний насос); F - Контролер теплового насосу Vitotronic 200.

Переваги:

- 1) Низькі експлуатаційні витрати за рахунок високого значення коефіцієнта потужності COP (COP = Coefficient of Performance) згідно з EN 14511: До 5,1 (A7/W35) і до 4,0 (A2/W35)
- 2) Регулювання потужності і інвертор постійного струму для забезпечення високої ефективності в режимі часткового завантаження
- 3) Макс. температура подачі: до 60 °C
- 4) Внутрішній блок з високоєфективним циркуляційним насосом, конденсатором, 3-ходовим перемикальним клапаном і контролером, для варіанта опалення/охолодження з інтегрованим проточним водонагрівачем
- 5) Комфорт завдяки реверсному виконанню, забезпечує можливість опалювання і охолодження
- 6) Оптимізоване використання самовиробленого струму фотоелектричних енергетичних установок.

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

7) Оптимізована за коефіцієнтом потужності COP каскадна функція для макс 5 теплових насосів

8) Особливо тихі характеристики експлуатації завдяки конструкції з покращеною звукоізоляцією (Advanced acoustics design — AAD)

Можливість доступу в Інтернет через Vitoconnect (приладдя) для керування і сервісного обслуговування за допомогою додатків Viessmann.

2.4. Висновки по розділу 2.

1) Визначено методологічні основи проведення дослідження та обґрунтовано вибір методів збору та аналізу даних для оцінювання енергетичної ефективності запропонованих технічних рішень модернізації системи теплопостачання.

2) Систематизовано сучасні методи оцінювання споживання теплової та електричної енергії в будівлях. Проаналізовано технічні характеристики основного теплотехнічного обладнання системи теплопостачання, включаючи газовий конденсаційний котел, тепловий насос та електричний котел, що розглядаються як альтернативні варіанти модернізації.

					ВКР.144.6241мх.05.03.ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
					Розрахунковий розділ	Літ.	Арк.	Аркушів
Студент	Соляник М.Ю.							
Керівник	Кобалава Г.О.					НУК		
Консульт.								
						42		

3. РОЗРАХУНКОВИЙ РОЗДІЛ

3.1. Аналіз метеорологічних даних.

Метеорологічні дані (температура зовнішнього повітря) отримано за допомогою програми *meteomanz* (див. роз. 2). Для адекватної оцінки енергозберігаючих рішень згідно до вимог системи енергетичного менеджменту необхідно аналізувати ефективність відносно не менш як трьох років (рекомендується п'ять років). Зміна температур зовнішнього повітря на протязі останніх 2021-2022, 2022-2023, 2023-2024 опалювальних періодів (років) з інтервалом три години наведено на рис. 3.1–3.3. Можна побачити, що середня температура зовнішнього повітря протягом 2021-2022 складає $t_{\text{зп}} = -5...+15\text{ }^{\circ}\text{C}$, для 2022-2023 – $t_{\text{зп}} = -3...+18\text{ }^{\circ}\text{C}$, 2023-2024 – $t_{\text{зп}} = -10...+12\text{ }^{\circ}\text{C}$ тобто температура в середньому достатньо помірна, хоча розрахункова температура для даного регіону складає $-19,2\text{ }^{\circ}\text{C}$. Такий розподіл температур є дуже привабливим з точки зору застосування теплового насосу в системі опалення, оскільки основним джерелом теплоти для випарника теплового насосу є зовнішнє повітря. При цьому середні значення коефіцієнту трансформації теплоти теплового насосу складають $\text{COP} = 3\text{--}5$.



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

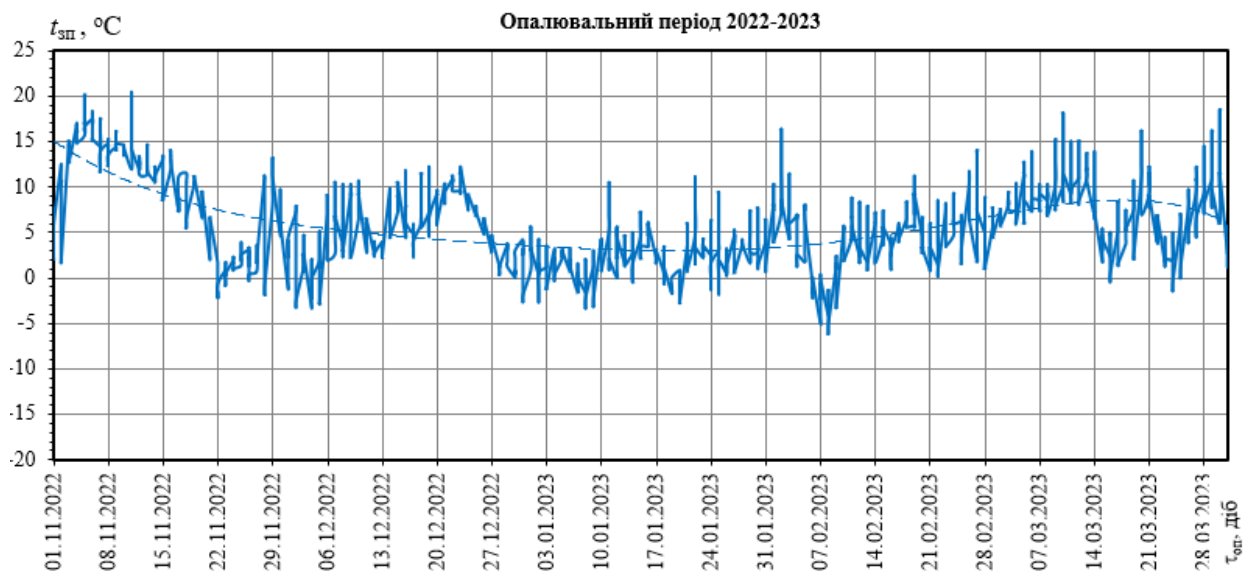


Рис. 3.2. Залежності зміни температури зовнішнього повітря протягом 2022-2023 опалювального періоду.

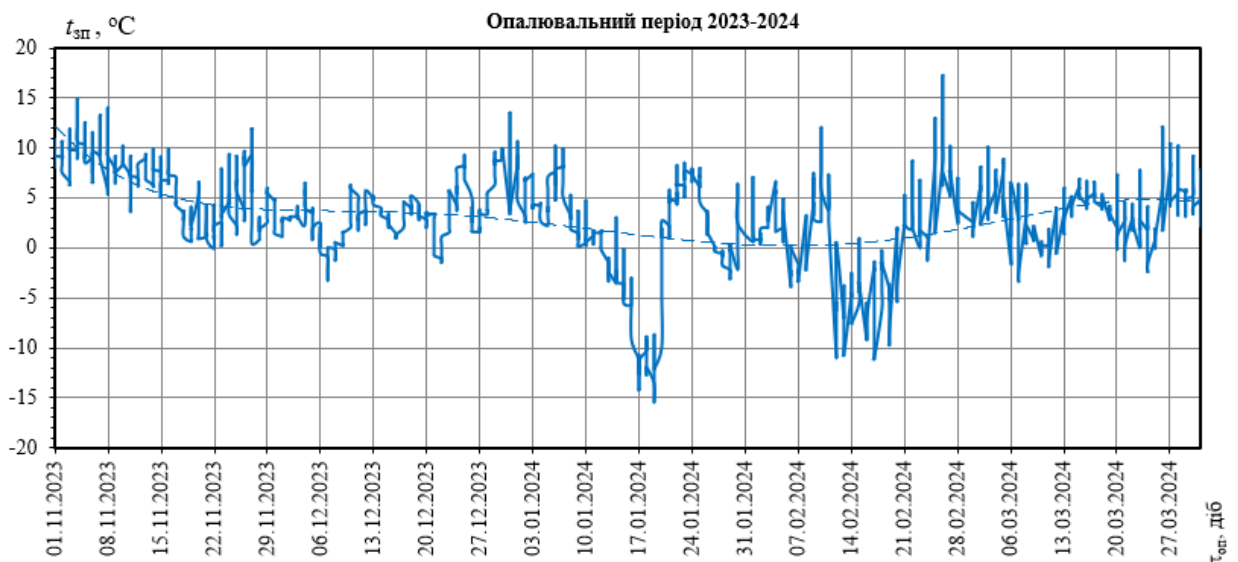


Рис. 3.3. Залежності зміни температури зовнішнього повітря протягом 2023-2024 опалювального періоду.

3.2. Загальна характеристика об'єкта дослідження.

Об'єкт дослідження – це великий дім за городом і включає реалізацію архітектурних прийомів, які дозволяють вловлювати та акумулювати (накопичувати) велику кількість тепла з навколишнього середовища (рис. 3.4-

3.7). Будинок одноповерховий, з теплими полами, обшита утеплювачем та різними теплоносіями для підтримки комфорту. Площею понад 200 кв.м.

Тепломеханічна частина проекту повинна розроблятися на підставі завдання на проектування, вимоги паспортів підприємств та виготовлення спорядження та у відповідності до вимоги "Котельних установ". Проектом повинно передбачатися будівництво топкової для теплопостачання систем опалення, вентиляції, гарячого водопостачання житлового будинку в м. Миколаїв. У літній період передбачається холодопостачання систем вентиляції. Топкова розташовується в особливому прибудованому приміщенні.

Теплорегулююче обладнання:

- 1) тепловий насос Vitocal 200-S тепловою потужністю 15,5 кВт.
- 2) газовий конденсаційний котел парпетного типу Vitodens -100-W тепловою потужністю 26кВт.
- 3) два плоскі сонячні колектори Vitosol 100-FM, площа 2,3 м² кожний.

Основне джерело теплової енергії - тепловий насос Vitocal 200-S, газовий конденсаційний котел парпетного типу Vitodens -100-W використовується для покриття пікових навантажень. Для приготування гарячої води від сонячних колекторів в топковій встановлена ємність водонагрівачів Vitocell – 100-W ємністю 300л. Крім того , можливий розігрів води теплоносієм газового котла або теплового насосу. Подачу теплоносія в систему радіаторного опалення, теплих полів і вентиляції здійснюється три циркуляційних насоса Pico 25/1-6 установлених в насосних групах Meibes.

Система теплоопалення зачинена. Регулювання параметрів теплоносія якісний, в залежності від температури зовнішнього повітря. Теплоносій системи опалення, вентиляцій і теплих полів – гаряча вода з параметрів 50/30°C , системи ГВП – гаряча вода - 45 °C, система холодопостачання – вода с параметрами 10/20 C. Для компенсації розширення теплоносія в системах

					ВКР.144.6241мх.05.03.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		45

при нагріванні , встановленні компенсатори об'єма закритого типу. Підпитка в системі тепло опалення створена автоматично через арматуру заповнення при падіння тиску в системі. Водопостачання топочної передбачено від системи господарсько-питьового водопостачання .Вода використовується для поповнення втрат теплоносія і для виготовлення гарячої води. Опалення топочної здійснюється за рахунок тепло надходження від приладу і трубо постачання. Внутрішня температура топочної +12°C. Розрахункова температура зовнішнього повітря -20°C. Трубопровідна система тепло надходження прийняти із мідних труб . Трубопровід підлягає теплоізоляції з товщиною 9мм.

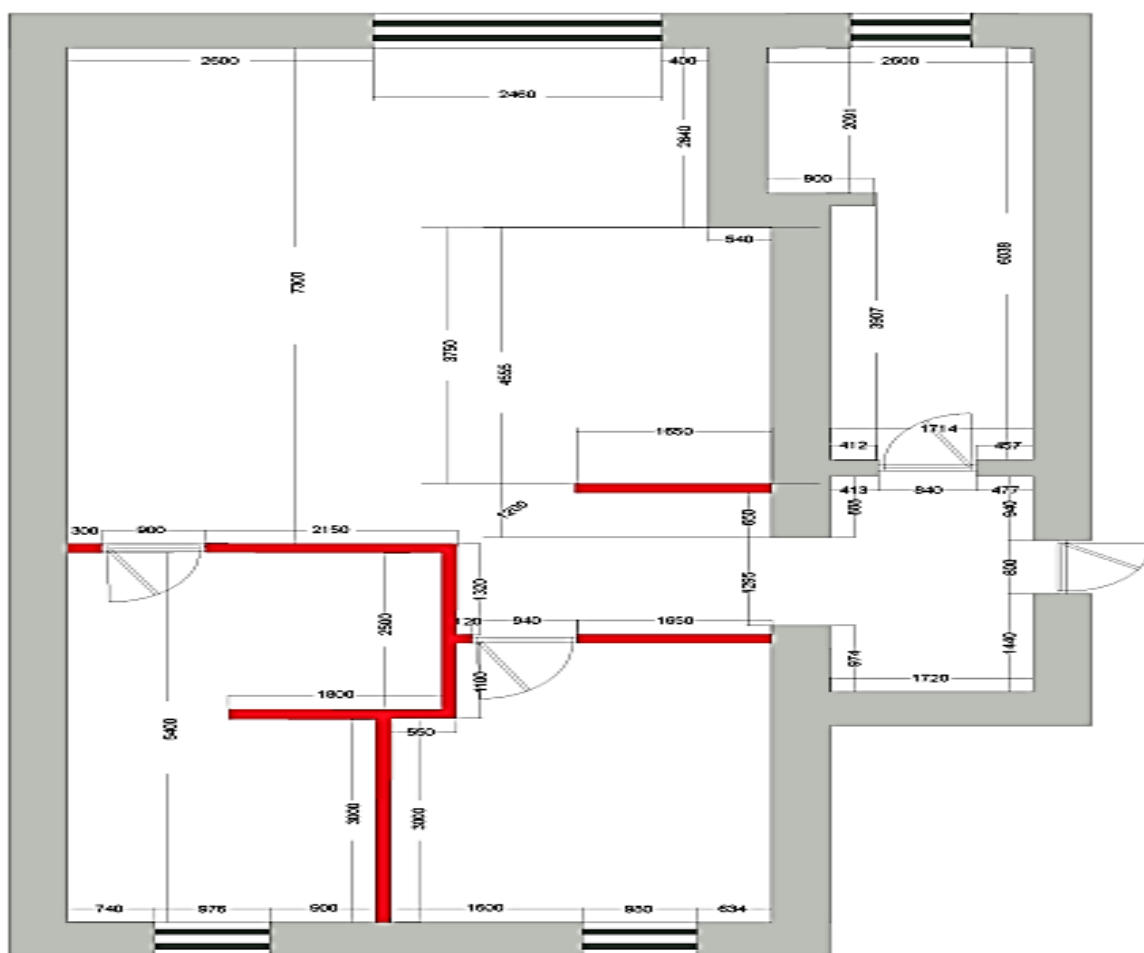


Рис 3.4. План дому.

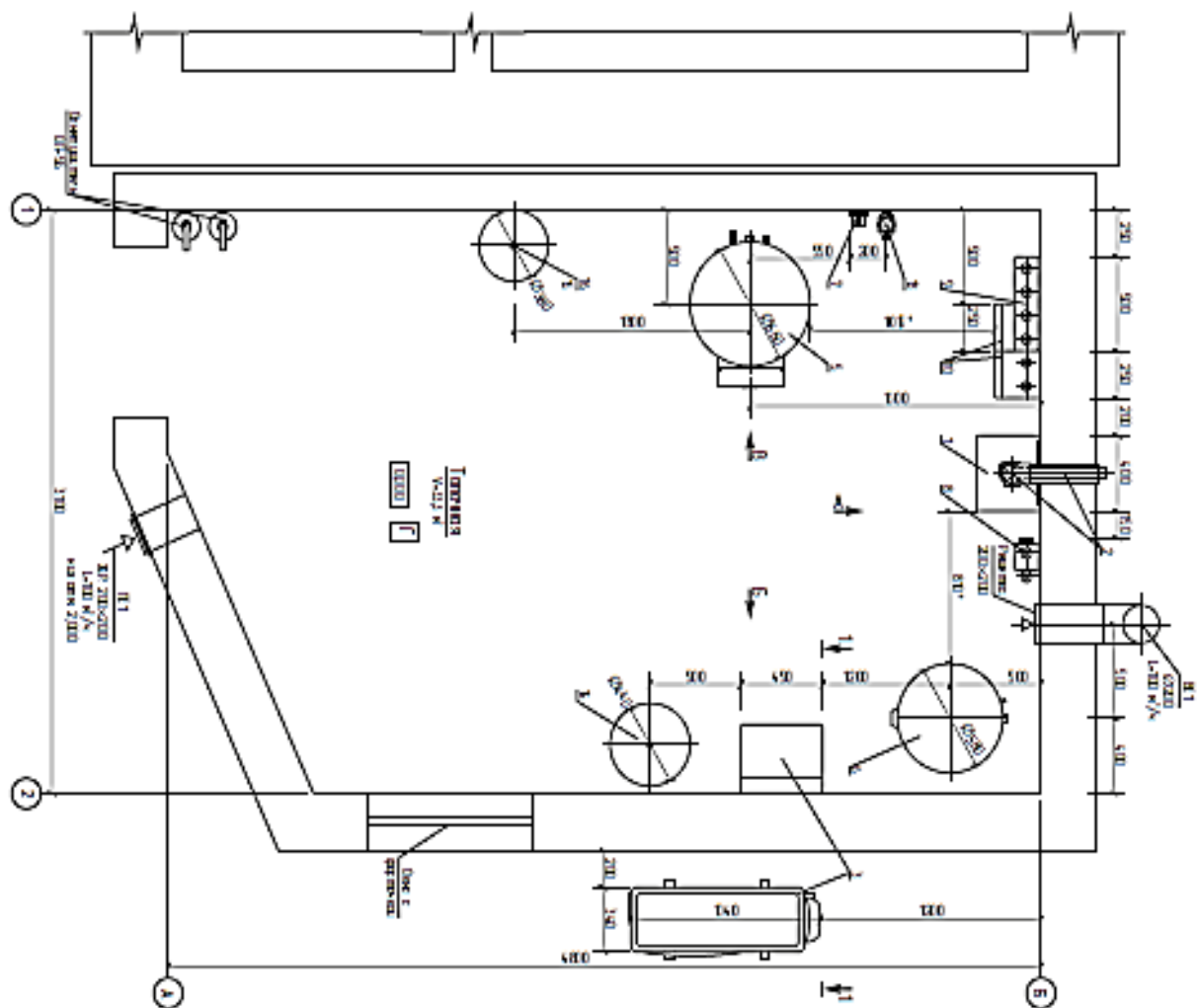


Рис 3.5. Топочна з конденсаційним котлом, тепловим насосом і системою сонячних колекторів

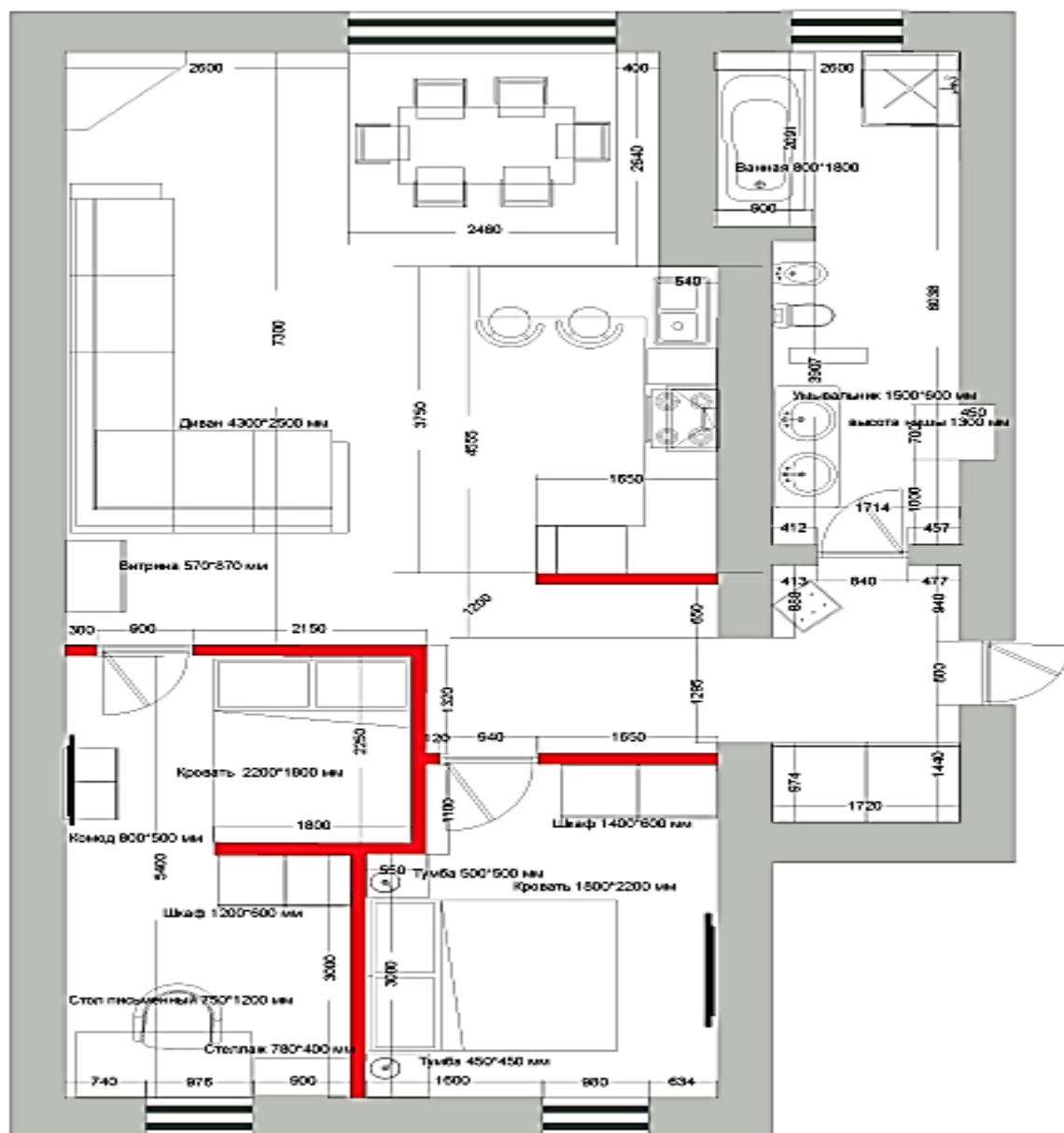


Рис 3.6. План розташування меблів.

Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата

ВКР.144.6241мх.05.03.ПЗ

Лист

48

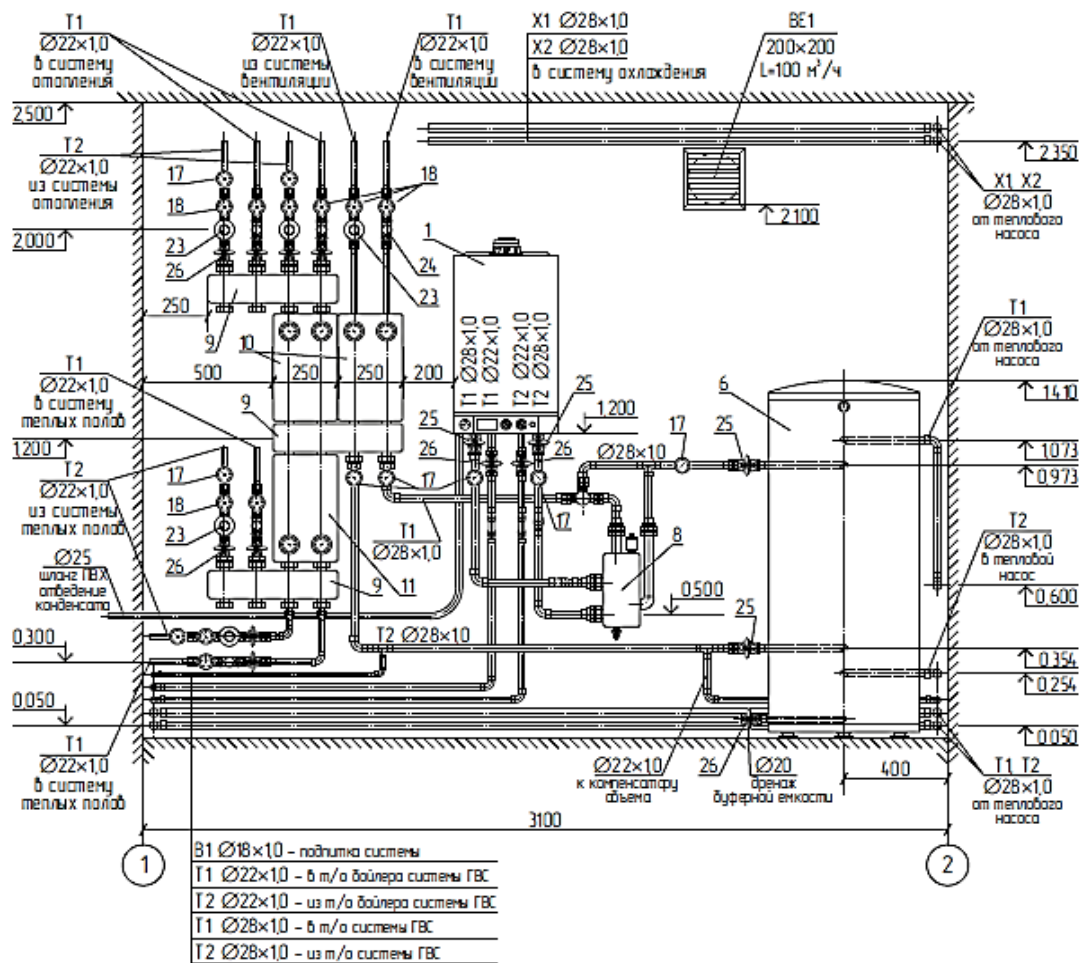


Рис 3.7. Топочна с газовым конденсационным котлом, тепловым насосом і системою сонячною колекторів (вид А)

3.3. Теплотехнічний розрахунок будинку.

В холодний період року з приміщення відбуваються втрати теплоти, так як $t_{\text{вн}} < t_{\text{зовн}}$, щоб їх компенсувати, необхідно спроектувати та підібрати пасивну систему опалення. Тепловтрати здійснюються через огорожувальні конструкції.

Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата

ВКР.144.6241мх.05.03.ПЗ

Лист

49

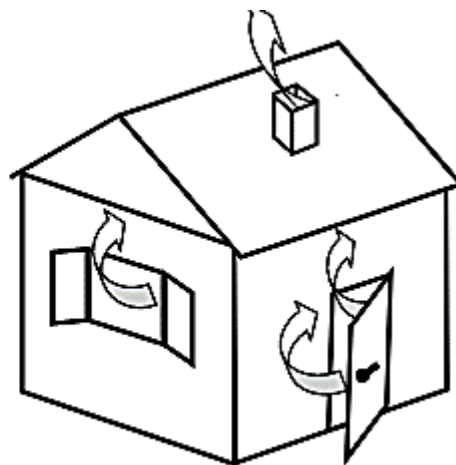
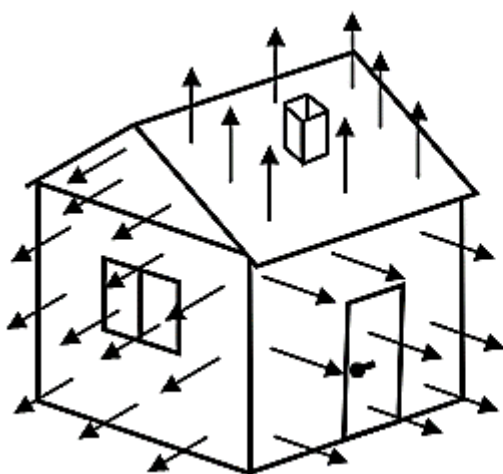


Рис 3.8. Теплові втрати в навколишнє середовище крізь огорожувальні конструкції та вентиляцію.

Опір теплопередачі через зовнішні огорожувальні конструкції знаходиться за формулою:

$$R_{\text{ог.конст.}} = \frac{1}{\alpha_3} + \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_{\text{вн}}},$$

де

λ_i - коефіцієнт теплопровідності відповідного шару, Вт/м *К ;

δ_i - товщина відповідного шару, м;

$\alpha_{\text{вн}}$ - коефіцієнт тепловіддачі із внутрішньої сторони будівлі, що залежить від типу конструкції, так для зовнішніх стін,

$\alpha_{\text{вн}} = 8,7$ Вт/ м2* К ;

α_3 - коефіцієнт тепловіддачі від стін зовнішньому середовищу,

$\alpha_3 = 23$ Вт/м*К - Коефіцієнт теплопередачі стіни знаходиться за формулою:

$$U = \frac{1}{R_{\text{ог.конст.}}}.$$

Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата
------	------	-------------	--------	------

Втрати теплоти через підлогу, розташовану на ґрунті підраховуються по зонах з урахуванням відстані зон від зовнішніх стін. Смуга підлоги шириною 2 м, паралельна лінії зовнішньої стіни, називається зоною. Найближча до зовнішньої стіни зона вважається першою, подальші – другою і третьою, а вся решта частини підлоги – четвертою. Частина площі першої зони (2х2 м), яка прилягає до кута зовнішніх стін, має підвищені тепловтрати і враховується двічі.

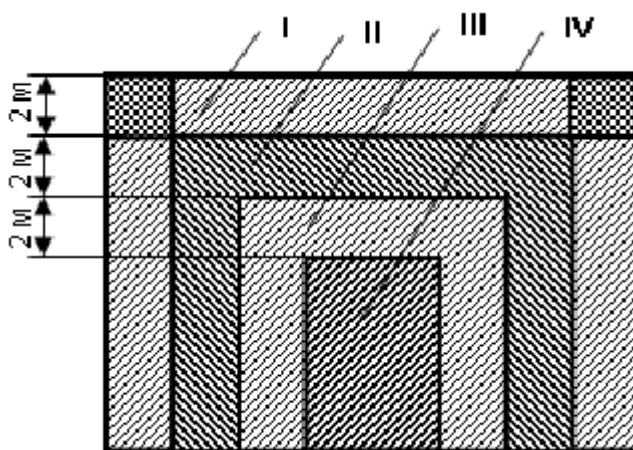


Рис 3.9. Визначення теплових втрат крізь підлогу .
Для окремої зони утепленої підлоги на ґрунті

$$R_{\text{підлоги}} = R_{\text{н.п.}} + \frac{\delta_{\text{у.ш.}}}{\lambda_{\text{у.ш.}}},$$

де $R_{\text{н.п.}}$ - термічний опір неутепленої підлоги на ґрунті для окремої зо.

$\delta_{\text{у.ш.}}$ - товщина утеплюючих шарів, м;

$\lambda_{\text{у.ш.}}$ - теплопровідності утеплюючих шарів, Вт/(м К).

Тип огорожувальних конструкцій та матеріали з яких вони виготовлені зведені до таблиці 3.1 для подальшого розрахунку тепловтрат будинку (навантаження на систему опалення).

Табл. 3.1. Зовнішні огорожувальні конструкції.

Тип огорожуючих конструкцій	δ , м	λ , Вт/(м*К)	R , (м2*К)/Вт	U , Вт/(м2*К)
1. Зовнішні стіни				
Фальш брус	0,03	0,35	5,011	0,200
OSB плита	0,012	0,22		
ISOVER Каркас-П34	0,15	0,034		
Повітряний зазор	0,02	0,03		
Гіпсокартон	0,012	0,21		
2. Горищне перекриття				
дерево (хвойне, поперек волокон)	0,012	0,35	7,097	0,141
ISOVER Профі	0,25	0,037		
Повітряний бар'єр	0,03	0,19		
Дах-металочерепиця	0,003	50		
3. Підлога				
Чорновий бетон(суцільна подушка)	0,3	1,86	3,32	0,301
Техноніколь Carbon ECO	0,1	0,034		
Алюмфлекс	0,001	0,032		
Система «тепла-підлога»	0,016	-		
Пустотілий бетон	0,08	0,45		
Плитка керамічна «Орозно»	0,012	1,05		
4. Вікна				
м/п однокамерні 4М1-16-4і	-	-	0,591	1,69
5. Двері				
Металічні противоударні утеплені	-	-	0,65	1,53

3.4. Розробка технічних рішень системи теплопостачання.

З метою аналізу ефективності застосування електричного опалення було проаналізовано декілька схем систем опалення. В якості базової взята існуюча схема із газовим котлом типу Vitodens 100-W з тепловою потужністю 26 кВт і двоступінчастим регулюванням потужності (30% і 100%) в погодозалежному

режимі. Для системи електричного опалення запропоновано застосування двоконтурного електричного котла типу VITOTRON 100 з тепловою потужністю 30 кВт, який може працювати в погодозалежному режимі з плавним регулюванням електричної потужності від 10% до 100%.

Застосування котлів пропонується сумісно з застосуванням теплового насосу Vitocal 200-S. При цьому тепловий насос повинен працювати в погодозалежному режимі (в залежності від температури зовнішнього повітря), котли (газовий або електричний) включаються при пікових навантаженнях на систему опалення при температурах зовнішнього повітря нижче 0 °С. Це пов'язано насамперед з тим, що коефіцієнт COP при низьких температурах зовнішнього повітря істотно зменшується і застосування теплового насосу стає невигідним.

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

- 1) Застосування тільки газового котла в погодозалежному режимі регулювання теплоти;
- 2) Застосування тільки електричного котла в погодозалежному режимі регулювання теплоти;
- 3) Сумісне застосування газового котла та теплового насосу в погодозалежному режимі, газовий котел включається при температурах зовнішнього повітря нижче $t_{зп} = 0$ °С і компенсує дефіцит по теплоті.
- 4) Сумісне застосування електричного котла та теплового насосу в погодозалежному режимі, електричний котел включається при температурах зовнішнього повітря нижче $t_{зп} = 0$ °С і компенсує дефіцит по теплоті.

Додатково для потреб гарячого водопостачання (літній режим) може також застосовуватися сонячні панелі (геліосистема) (рис. 3.11).

					ВКР.144.6241мх.05.03.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		53

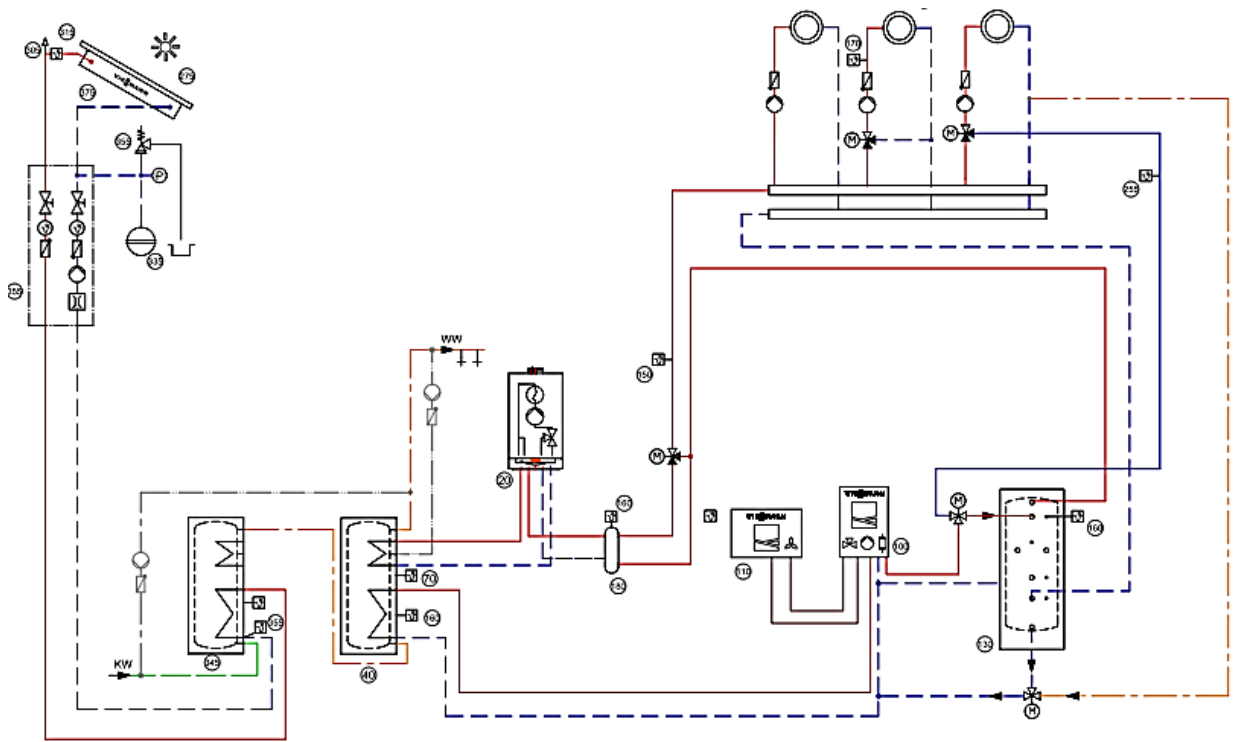


Рис. 3.10. Схемне рішення системи опалення, яке включає в себе сумісну роботу теплового насосу та котла.

З метою розрахунку характеристик теплового насосу Vitocal 200-S було проаналізовано отримані експериментальні дані, які було надано у відкритому доступі. Аналіз експериментальних даних показав, що коефіцієнт COP та відповідна кількість корисної теплоти Q зменшуються з зменшенням зовнішньої температури та збільшуються із зменшенням температури теплоносія (води системи опалення) та складають $Q_{\text{TH}} = 8\text{--}14$ кВт і $\text{COP} = 2,2\text{--}3,5$ при $t_{\text{зп}} = 0$ °C та відповідно при $t_{\text{зп}} = 10$ °C – $Q_{\text{TH}} = 11\text{--}17$ кВт і $\text{COP} = 2,8\text{--}4,4$.

Проведений регресійний аналіз дозволяє визначити методами апроксимації емпіричні залежності для розрахунку в залежності від значень початкової температури теплоносія на вході та температури зовнішнього повітря (рис. 3.12, 3.13).

Коефіцієнт COP при $t_{w1} = 35$ °C:

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

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

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

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

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

Теплове навантаження $Q_{\text{тн}}$ при $t_{w1} = 35\text{ }^{\circ}\text{C}$:

$$Q_{\text{тн}} = 0,0021 \cdot t_{\text{зп}}^2 + 0,2478 \cdot t_{\text{зп}} + 13,637 \quad (R^2 = 0,9659).$$

Теплове навантаження $Q_{\text{тн}}$ при $t_{w1} = 45\text{ }^{\circ}\text{C}$:

$$Q_{\text{тн}} = 0,0021 \cdot t_{\text{зп}}^2 + 0,1789 \cdot t_{\text{зп}} + 11,313 \quad (R^2 = 0,9681).$$

Теплове навантаження $Q_{\text{тн}}$ при $t_{w1} = 55\text{ }^{\circ}\text{C}$:

$$Q_{\text{тн}} = 0,0027 \cdot t_{\text{зп}}^2 + 0,1239 \cdot t_{\text{зп}} + 9,4065 \quad (R^2 = 0,9063).$$

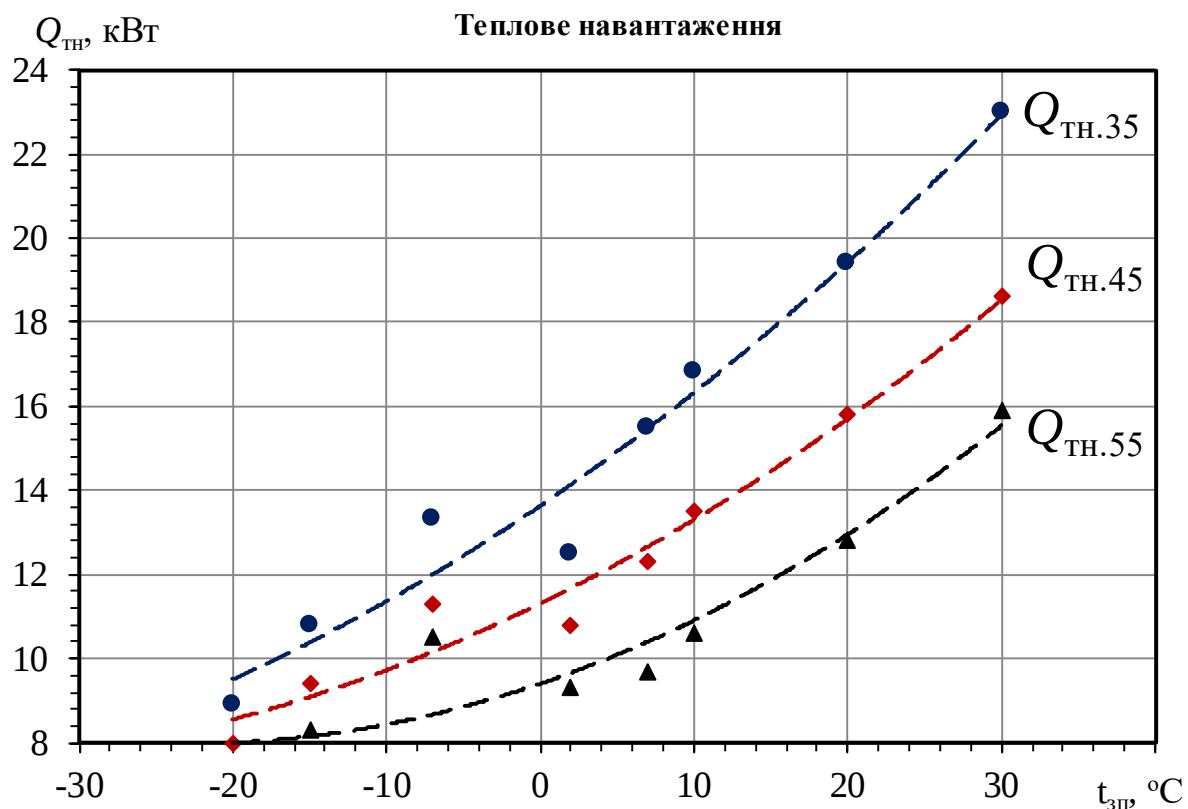


Рис. 3.11. Експериментальні значення теплового навантаження $Q_{\text{тн}}$ в залежності від температури зовнішнього повітря $t_{\text{зп}}$ при різних температурах теплоносія t_{w1} .

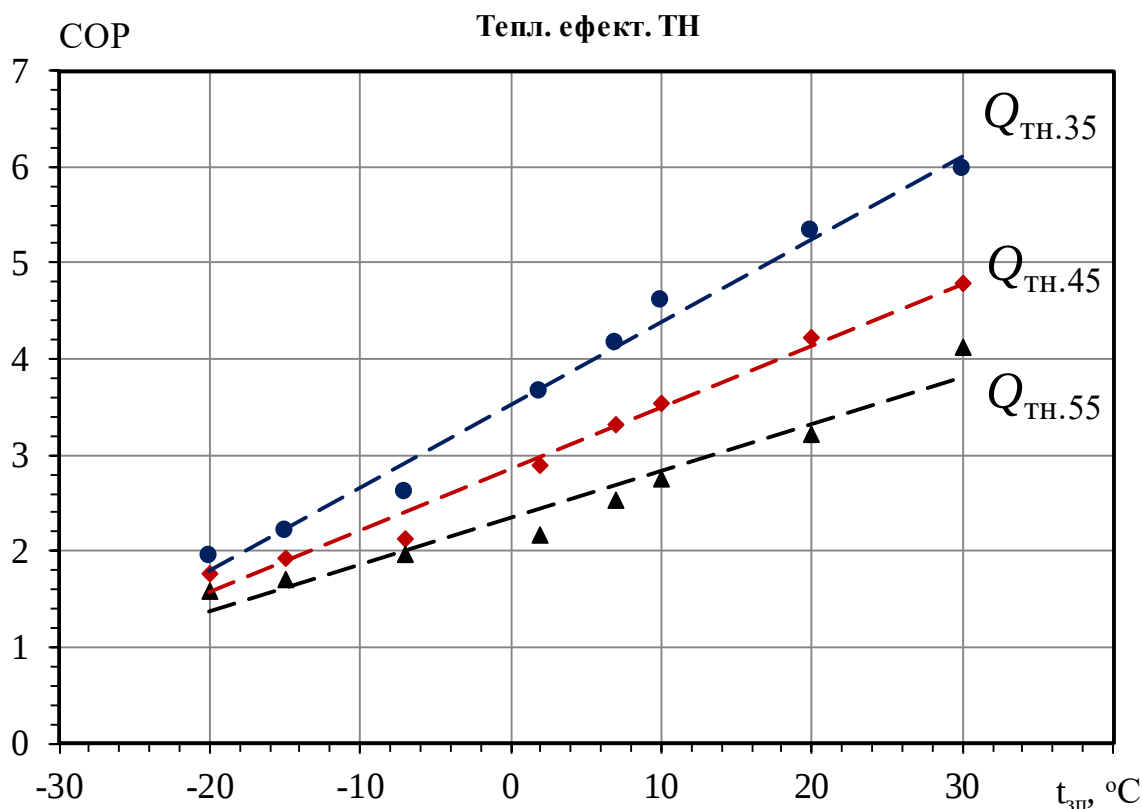


Рис. 3.12. Експериментальні значення коефіцієнта COP в залежності від температури зовнішнього повітря $t_{зп}$ при різних температурах теплоносія t_{w1} .

3.5. Висновки по розділу 3.

1. Проведено аналіз метеорологічних умов регіону розташування досліджуваної будівлі. Виконано статистичну обробку даних про зміну температури зовнішнього повітря протягом опалювальних періодів 2021-2022, 2022-2023 та 2023-2024 років з тригодинним інтервалом вимірювань.
2. Здійснено технічну характеристику існуючої системи опалення досліджуваної будівлі, включаючи аналіз планувальних рішень приміщень та схеми розміщення теплоенергетичного обладнання.
3. Виконано теплотехнічний розрахунок системи опалення на основі відповідних методик та розроблено технічні рішення щодо впровадження системи електричного опалення.
4. Отримано емпіричні залежності коефіцієнта трансформації теплоти та теплового навантаження від температури теплоносія на вході до

системи опалення та температури зовнішнього повітря, які можуть бути використані для розрахунку режимів роботи системи.

					ВКР.144.6241мх.05.04.ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
					Дослідницький розділ	Літ.	Арк.
Студент		Соляник М.Ю.					Аркушів
Керівник		Кобалава Г.О.					
Консульт.						НУК	

4. ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ

4.1. Моделювання характеристик системи опалення в залежності від зміни температури зовнішнього повітря.

Для проведення моделювання характеристик системи опалення (теплове навантаження, витрата природного газу, витрата електричної енергії та інш.) в залежності від зміни температури зовнішнього повітря було прийнято наступні вхідні умови:

- 1) максимальне теплове навантаження електричного котла, газового котла відповідає температурі зовнішнього повітря $t_{\text{зп}} = -20\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- 2) для системи опалення з комбінованим застосуванням котла та теплового насоса температура зовнішнього повітря, при якій включається котел (10% від номінального навантаження) $t_{\text{зп}} = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- 3) розрахунок здійснюється для опалювального періоду з листопада по березень кожні три години;
- 4) базовою схемою для порівняння інших варіантів системи опалення є схема з газовим котлом;
- 5) початкова температура теплоносія на вході в систему опалення $t_{\text{w1}} = 35; 45; 55\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Аналізуючи чотири варіанти схемних рішень системи опалення для опалювального періоду 2021-2022 років, можна зробити наступні висновки. При роботі опалення тільки з газовим котлом витрата природного газу протягом опалювального періоду складає в середньому $V_{\text{ГК}} = 0,5\text{--}1,5\text{ м}^3/\text{год}$. Витрата природного газу при комбінованому застосуванні разом із тепловим насосом складає до $V_{\text{ГК(ТН)}} = 0,7\text{ м}^3/\text{год}$ причому мають місце дні на протязі періоду, коли котел повністю виключений. Сумарна витрата природного газу за весь період складає $\Sigma V_{\text{ГК}} = 3,5\text{ тис. м}^3$ для газового опалення та $\Sigma V_{\text{ГК(ТН)}} =$

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

0,3 тис. м³ для комбінованого (з тепловим насосом), що на 3,2 тис. м³ менше (рис. 4.1).

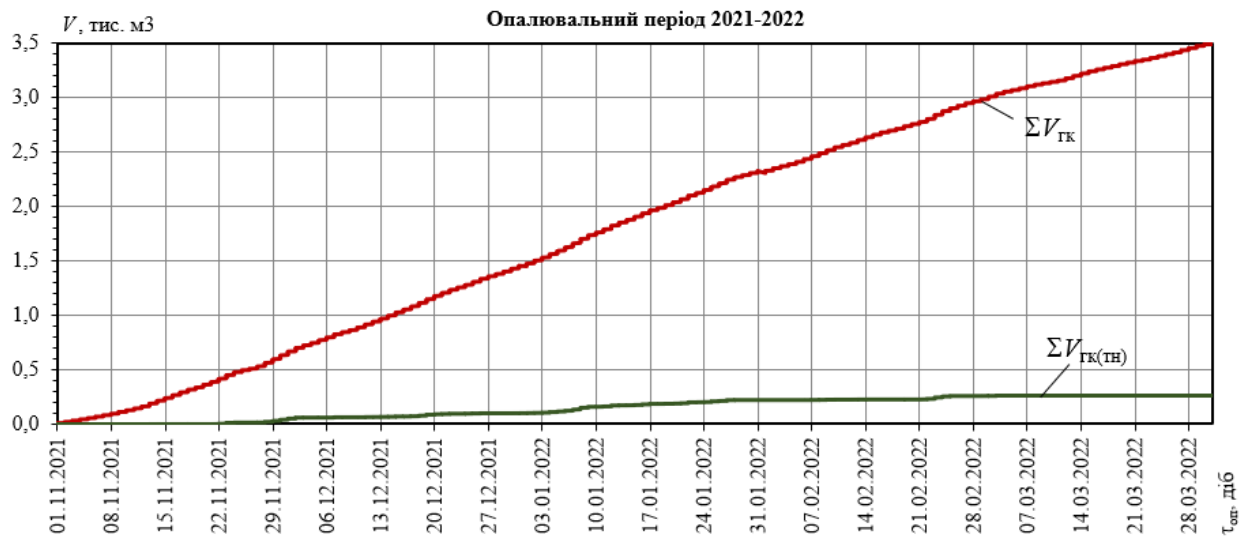


Рис. 4.1. Залежності сумарного споживання природного газу для схеми із газовим котлом $\Sigma V_{ГК}$, витрати природного газу для комбінованої схеми із тепловим насосом $\Sigma V_{ГК(ТН)}$.

Розглядаючи схеми з застосуванням електричного котла та комбінованого застосування котла та теплового насосу, можна побачити, що навантаження на електрокотел складає $N_{ек} = 5\text{--}18$ кВт. При цьому для комбінованого варіанту електричне навантаження складається із навантаження на котел та на компресор теплового насосу. Навантаження на тепловий насос складає $N_{ТН} = 4,0\text{--}4,5$ кВт, тобто практично не змінюється, а навантаження на електрокотел носить епізодичний характер та складає до $N_{ек(ТН)} = 8$ кВт. Таким чином, сумарне електричне навантаження – $N_{ел(ТН)+ТН} = 4,0\text{--}12,5$ кВт.

Сумарне споживання електричної енергії буде складати (рис. 4.2) для системи опалення із електричним котлом $\Sigma N_{ек} = 36,0$ тис. кВт·год, навантаження на тепловий насос для комбінованої схеми $\Sigma N_{ТН} = 9,0$ тис. кВт·год, на електрокотел для комбінованої схеми $\Sigma N_{ек(ТН)} = 3,0$ тис. кВт·год. При цьому сумарне споживання електричної енергії для комбінованої схеми складе $\Sigma N_{ек(ТН)+ТН} = 17,0$ тис. кВт·год.

					ВКР.144.6241мх.05.04.ПЗ	Лист
						60
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

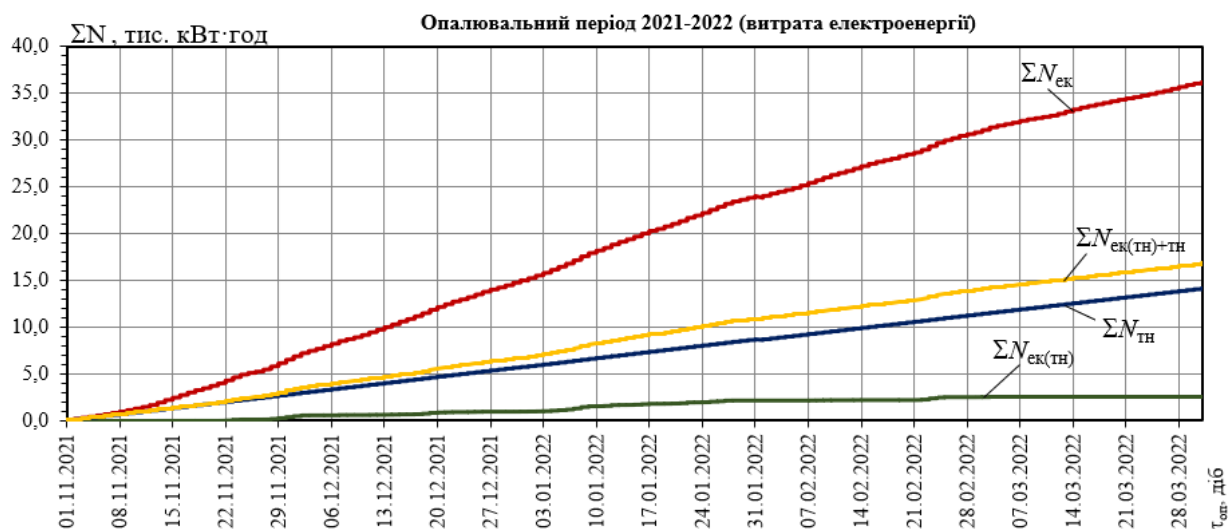


Рис. 4.2. Залежності сумарного споживання електричної енергії для схеми із електрокотлом котлом $\Sigma N_{ек}$, для електрокотла комбінованої схеми із тепловим насосом $\Sigma N_{ек(тн)}$, тепловим насосом $\Sigma N_{тн}$ та сумарне споживання електричного котла та теплового насосу $\Sigma N_{ек(тн)+тн}$.

Моделювання відносно зміни початкової температури теплоносія t_{w1} показує, що значення коефіцієнта COP при $t_{w1} = 55\text{ }^{\circ}\text{C}$ найменші та складають $COP = 2,4\text{--}3,0$. Це пояснюється тим, що чим вище температура теплоносія, тим вище повинна бути температура конденсації в конденсаторі (нагрівачі) теплового насосу і, відповідно, зростає необхідна робота на стиснення компресора. Теплове навантаження теплового насосу при цьому складає $Q_{тн} = 9,5\text{--}11,5\text{ кВт}$ при електричному навантаженні на компресор теплового насосу та електричного котла $N_{ел(тн)+тн} = 4,0\text{--}13,5\text{ кВт}$. При зниженні початкової температури до $t_{w1} = 45\text{ }^{\circ}\text{C}$ – $COP = 2,5\text{--}3,7$, а теплове навантаження теплового насосу при складає $Q_{тн} = 11,0\text{--}14,5\text{ кВт}$ при електричному навантаженні на компресор теплового насосу та електричного котла $N_{ел(тн)+тн} = 4,0\text{--}12,5\text{ кВт}$. Початковій температурі $t_{w1} = 35\text{ }^{\circ}\text{C}$ відповідають більші значення коефіцієнта $COP = 3,5\text{--}4,8$ та найменші значення електричного навантаження. При цьому теплове навантаження теплового насосу при складає $Q_{тн} = 11,0\text{--}14,5\text{ кВт}$ при електричному навантаженні на компресор теплового насосу та електричного котла $N_{ел(тн)+тн} = 4,0\text{--}16,0\text{ кВт}$ (рис. 4.3).

Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата

ВКР.144.6241мх.05.04.ПЗ

Лист

61



Рис. 4.3. Залежності коефіцієнта COP , навантаження на електричний котел для комбінованої схеми із тепловим насосом $N_{\text{ек(тн)}}$, навантаження на тепловий насос $N_{\text{тн}}$ та сумарне навантаження електричного котла та теплового насосу $N_{\text{ек(тн)+тн}}$ при температурі теплоносія в системі опалення $t_{w1} = 35^\circ\text{C}$.

Опалювальний період 2022-2023 років. При роботі опалення тільки з газовим котлом витрата природного газу протягом опалювального періоду складає в середньому $V_{\text{гк}} = 0,4\text{--}1,3 \text{ м}^3/\text{год}$. Витрата природного газу при комбінованому застосуванні разом із тепловим насосом складає до $V_{\text{гк(тн)}} = 0,5 \text{ м}^3/\text{год}$ причому мають місце дні на протязі періоду, коли котел повністю виключений. Сумарна витрата природного газу за весь період складає $\Sigma V_{\text{гк}} = 2,8 \text{ тис. м}^3$ для газового опалення та $\Sigma V_{\text{гк(тн)}} = 0,1 \text{ тис. м}^3$ для комбінованого (з тепловим насосом), що на $2,7 \text{ тис. м}^3$ менше (рис. 4.4).

Розглядаючи схеми з застосуванням електричного котла та комбінованого застосування котла та теплового насосу, можна побачити, що навантаження на електрокотел складає $N_{\text{ек}} = 5\text{--}16 \text{ кВт}$. При цьому для комбінованого варіанту електричне навантаження складається із навантаження на котел та на компресор теплового насосу.

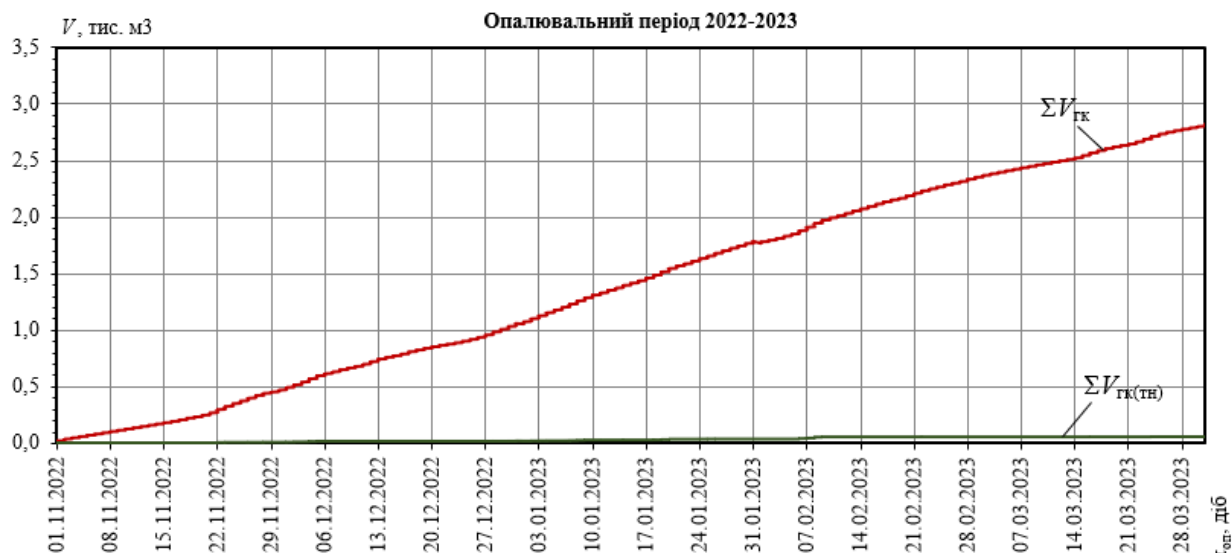


Рис. 4.4. Залежності сумарного споживання природного газу для схеми із газовим котлом $\Sigma V_{ГК}$, витрати природного газу для комбінованої схеми із тепловим насосом $\Sigma V_{ГК(ТН)}$.

Навантаження на тепловий насос складає $N_{ТН} = 4,0\text{--}4,7$ кВт, тобто практично не змінюється, а навантаження на електрокотел носить епізодичний характер та складає до $N_{ек(ТН)} = 6$ кВт. Таким чином, сумарне електричне навантаження – $N_{ел(ТН)+ТН} = 10,0\text{--}10,7$ кВт.

Сумарне споживання електричної енергії буде складати (рис. 4.5) для системи опалення із електричним котлом $\Sigma N_{ек} = 29,0$ тис. кВт·год, навантаження на тепловий насос для комбінованої схеми $\Sigma N_{ТН} = 14,5$ тис. кВт·год, на електрокотел для комбінованої схеми $\Sigma N_{ек(ТН)} = 0,5$ тис. кВт·год. При цьому сумарне споживання електричної енергії для комбінованої схеми складе $\Sigma N_{ек(ТН)+ТН} = 15,0$ тис. кВт·год.



Рис. 4.5. Залежності сумарного споживання електричної енергії для схеми із електрокотлом котлом $\Sigma N_{\text{ек}}$, для електрокотла комбінованої схеми із тепловим насосом $\Sigma N_{\text{ек(тн)}}$, тепловим насосом $\Sigma N_{\text{тн}}$ та сумарне споживання електричного котла та теплового насосу $\Sigma N_{\text{ек(тн)+тн}}$.

Моделювання відносно зміни початкової температури теплоносія t_{w1} показує, що значення коефіцієнта COP при $t_{w1} = 55\text{ }^{\circ}\text{C}$ найменші та складають $\text{COP} = 2,3\text{--}3,3$. Теплове навантаження теплового насосу при цьому складає $Q_{\text{тн}} = 9,0\text{--}12,0\text{ кВт}$ при електричному навантаженні на компресор теплового насосу та електричного котла $N_{\text{ел(тн)+тн}} = 4,0\text{--}11,0\text{ кВт}$. При зниженні початкової температури до $t_{w1} = 45\text{ }^{\circ}\text{C}$ – $\text{COP} = 3,0\text{--}4,1$, а теплове навантаження теплового насосу при складає $Q_{\text{тн}} = 10,0\text{--}14,5\text{ кВт}$ при електричному навантаженні на компресор теплового насосу та електричного котла $N_{\text{ел(тн)+тн}} = 4,0\text{--}10,0\text{ кВт}$. Початковій температурі $t_{w1} = 35\text{ }^{\circ}\text{C}$ відповідають більші значення коефіцієнта $\text{COP} = 3,4\text{--}5,1$ та найменші значення електричного навантаження. При цьому теплове навантаження теплового насосу при складає $Q_{\text{тн}} = 14,5\text{--}18,0\text{ кВт}$ при електричному навантаженні на компресор теплового насосу та електричного котла $N_{\text{ел(тн)+тн}} = 4,0\text{--}8,0\text{ кВт}$ (рис. 4.6).



Рис. 4.6. Залежності коефіцієнта COP , навантаження на електричний котел для комбінованої схеми із тепловим насосом $N_{EK(TH)}$, навантаження на тепловий насос N_{TH} та сумарне навантаження електричного котла та теплового насосу $N_{EK(TH)+TH}$ при температурі теплоносія в системі опалення $t_{w1} = 35\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Опалювальний період 2023-2024 років. При роботі опалення тільки з газовим котлом витрата природного газу протягом опалювального періоду складає в середньому $V_{ГК} = 0,5\text{--}1,9\text{ м}^3/\text{год}$. Витрата природного газу при комбінованому застосуванні разом із тепловим насосом складає до $V_{ГК(TH)} = 1,4\text{ м}^3/\text{год}$ причому значне коливання – піки, пов'язані з більш низькими температурами у січні-лютому на відміну від 2021-2022 і 2022-2023. Сумарна витрата природного газу за весь період складає $\Sigma V_{ГК} = 3,4\text{ тис. м}^3$ для газового опалення та $\Sigma V_{ГК(TH)} = 0,3\text{ тис. м}^3$ для комбінованого (з тепловим насосом), що на 3,1 тис. м^3 менше (рис. 4.7).

Розглядаючи схеми з застосуванням електричного котла та комбінованого застосування котла та теплового насосу, можна побачити, що навантаження на електрокотел складає $N_{ЕК} = 5\text{--}23\text{ кВт}$.

Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата

ВКР.144.6241мх.05.04.ПЗ

Лист

65

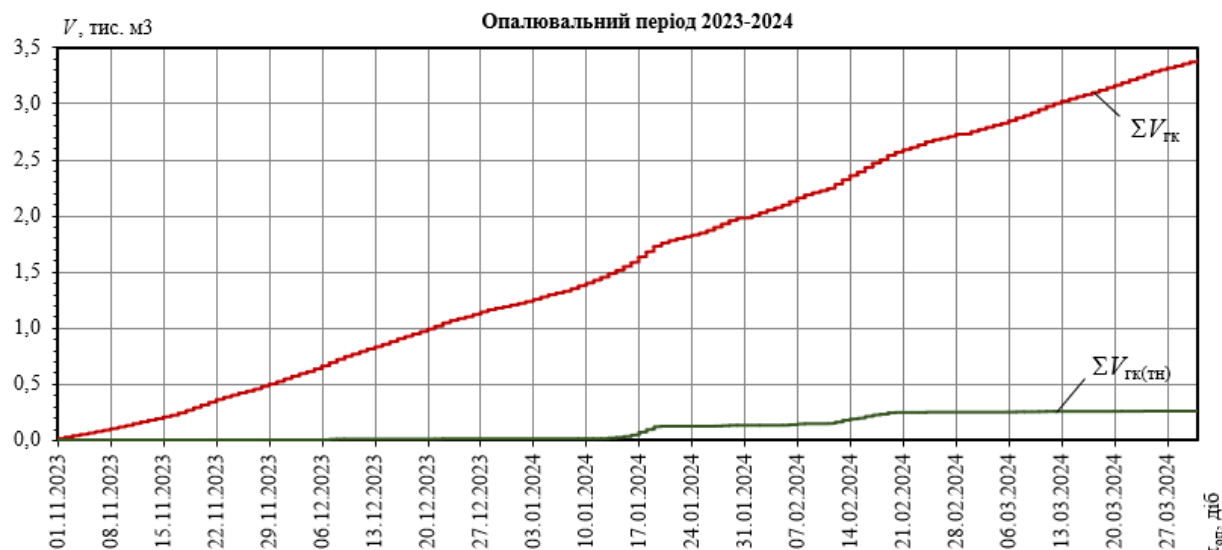


Рис. 4.7. Залежності сумарного споживання природного газу для схеми із газовим котлом $\Sigma V_{ГК}$, витрати природного газу для комбінованої схеми із тепловим насосом $\Sigma V_{ГК(ТН)}$.

При цьому для комбінованого варіанту електричне навантаження складається із навантаження на котел та на компресор теплового насосу. Навантаження на тепловий насос складає $N_{ТН} = 4,0\text{--}5,0$ кВт, тобто практично не змінюється, а навантаження на електрокотел носить епізодичний характер та складає до $N_{ек(ТН)} = 12$ кВт. Таким чином, сумарне електричне навантаження – $N_{ел(ТН)+ТН} = 4,0\text{--}17,0$ кВт.

Сумарне споживання електричної енергії буде складати (рис. 4.8) для системи опалення із електричним котлом $\Sigma N_{ек} = 35,0$ тис. кВт·год, навантаження на тепловий насос для комбінованої схеми $\Sigma N_{ТН} = 14,5$ тис. кВт·год, на електрокотел для комбінованої схеми $\Sigma N_{ек(ТН)} = 0,3$ тис. кВт·год. При цьому сумарне споживання електричної енергії для комбінованої схеми складе $\Sigma N_{ек(ТН)+ТН} = 14,8$ тис. кВт·год.

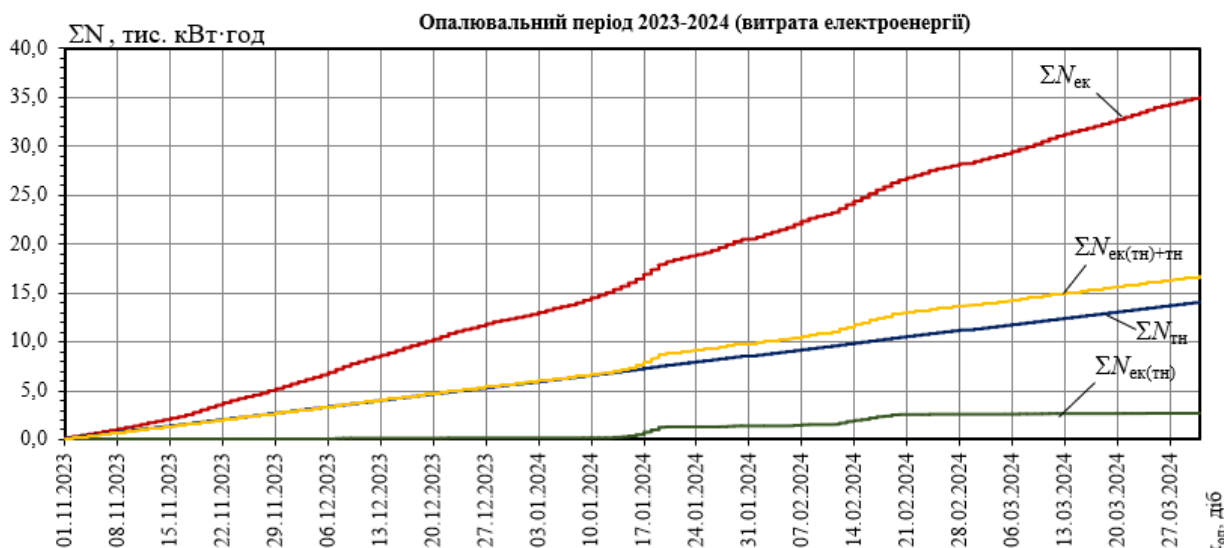


Рис. 4.8. Залежності сумарного споживання електричної енергії для схеми із електрокотлом котлом $\Sigma N_{\text{ек}}$, для електрокотла комбінованої схеми із тепловим насосом $\Sigma N_{\text{ек(тн)}}$, тепловим насосом $\Sigma N_{\text{тн}}$ та сумарне споживання електричного котла та теплового насосу $\Sigma N_{\text{ек(тн)+тн}}$.

Моделювання відносно зміни початкової температури теплоносія t_{w1} показує, що значення коефіцієнта COP при $t_{w1} = 55\text{ }^{\circ}\text{C}$ найменші та складають $\text{COP} = 2,0\text{--}3,0$. Теплове навантаження теплового насосу при цьому складає $Q_{\text{тн}} = 9,0\text{--}11,0\text{ кВт}$ при електричному навантаженні на компресор теплового насосу та електричного котла $N_{\text{ел(тн)+тн}} = 4,0\text{--}20,0\text{ кВт}$. При зниженні початкової температури до $t_{w1} = 45\text{ }^{\circ}\text{C}$ – $\text{COP} = 2,5\text{--}4,0$, а теплове навантаження теплового насосу при складає $Q_{\text{тн}} = 10,0\text{--}14,0\text{ кВт}$ при електричному навантаженні на компресор теплового насосу та електричного котла $N_{\text{ел(тн)+тн}} = 4,0\text{--}17,0\text{ кВт}$. Початковій температурі $t_{w1} = 35\text{ }^{\circ}\text{C}$ відповідають більші значення коефіцієнта $\text{COP} = 3,0\text{--}4,8$ та найменші значення електричного навантаження. При цьому теплове навантаження теплового насосу при складає $Q_{\text{тн}} = 12,0\text{--}18,0\text{ кВт}$ при електричному навантаженні на компресор теплового насосу та електричного котла $N_{\text{ел(тн)+тн}} = 4,0\text{--}17,0\text{ кВт}$ (рис. 4.9).

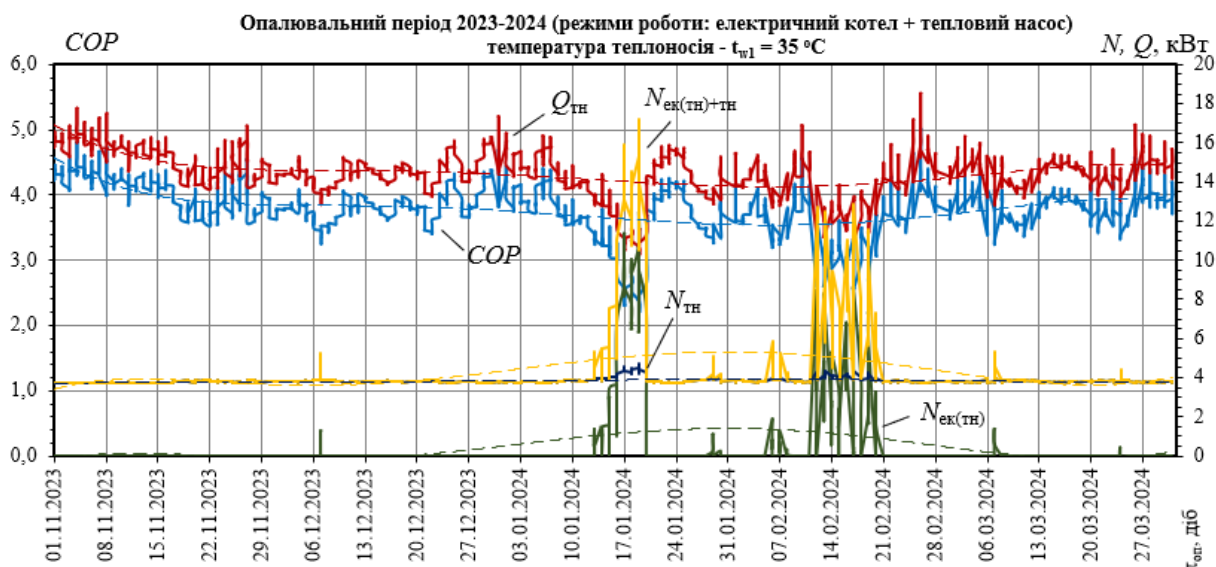


Рис. 4.9. Залежності коефіцієнта COP, навантаження на електричний котел для комбінованої схеми із тепловим насосом $N_{\text{ек(ТН)}}$, навантаження на тепловий насос $N_{\text{ТН}}$ та сумарне навантаження електричного котла та теплового насосу $N_{\text{ек(ТН)+ТН}}$ при температурі теплоносія в системі опалення $t_{w1} = 35\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Таким чином, можна зробити висновок про те, що застосування електричного котла раціональне лише при комбінованому застосуванні разом із тепловим насосом. При цьому споживання електричної енергії складає $\Sigma N_{\text{ек(ТН)+ТН}} = 15,0\text{--}17,0$ тис. кВт·год, що на $14,0\text{--}19,0$ тис. кВт·год (35–50%) менше ніж при застосуванні лише електродкотла протягом одного опалювального періоду.

4.2. Оцінка економії коштів за рахунок застосування схемних рішень для системи опалення по місяцях за опалювальний період.

При розрахунках економії коштів, що пов'язані із скороченням споживання електричної енергії враховано, що тариф на електроенергію складає 5 грн/(кВт·год) відповідно до даних ТОВ "Херсонська обласна ЕК" для приватних споживачів, приєднаних до електричних мереж з договірною потужністю до 50 кВт. Валютний курс для дол. США прийнято 41 грн/дол.

Розрахунок коштів, які можна зекономити за рахунок скорочення електричної енергії по місяцях для трьох останніх опалювальних періодів представлено на рис. 4.10–4.12. Можна побачити, що скорочення споживання електричної енергії сягає 2,6–4,0 тис. кВт·год, що відповідає 48–57% в порівнянні із базовим варіантом. Економія коштів при цьому складе 8,2–12,3 тис. грн (рис. 4.13–4.15) або 0,31–0,35 тис. дол. США (рис. 4.16–4.18). Найменші показники скорочення електричної енергії відповідають листопаду – 2,6 кВт·год (48%), що дає змогу отримати економію коштів в 8,2 тис. грн (0,31 тис. дол. США). Такий розподіл по місяцях пояснюється більш високими середніми температурами повітря впродовж доби.

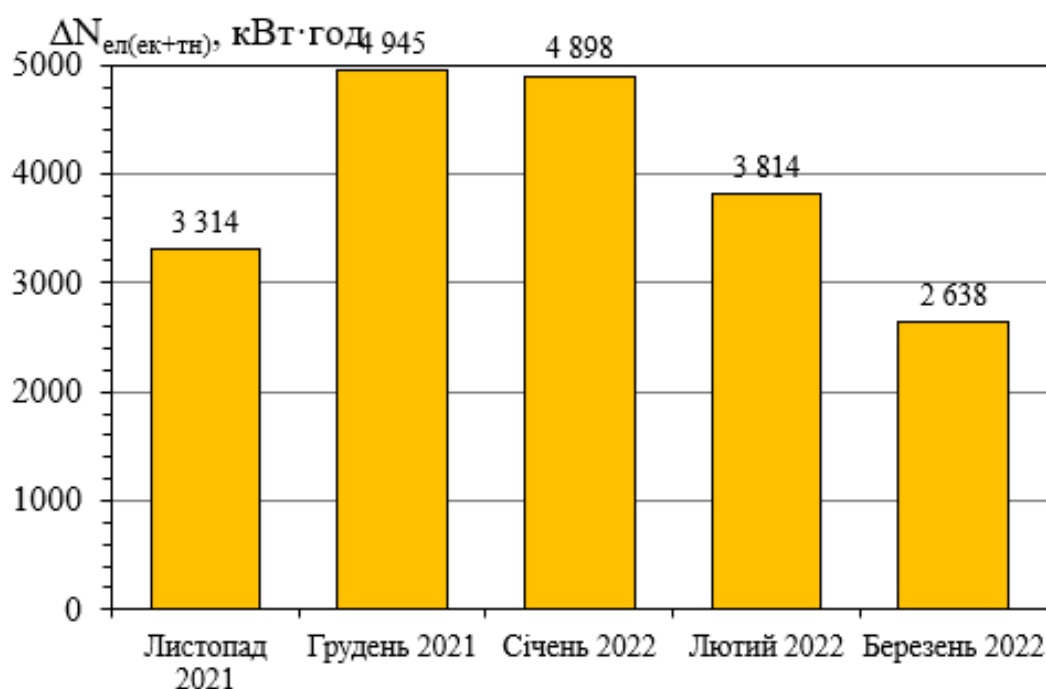


Рис. 4.10. Скорочення витрати електричної енергії для схеми з комбінованим застосуванням електрокотла та теплового насоса за 2021-2022 опалювальний період.

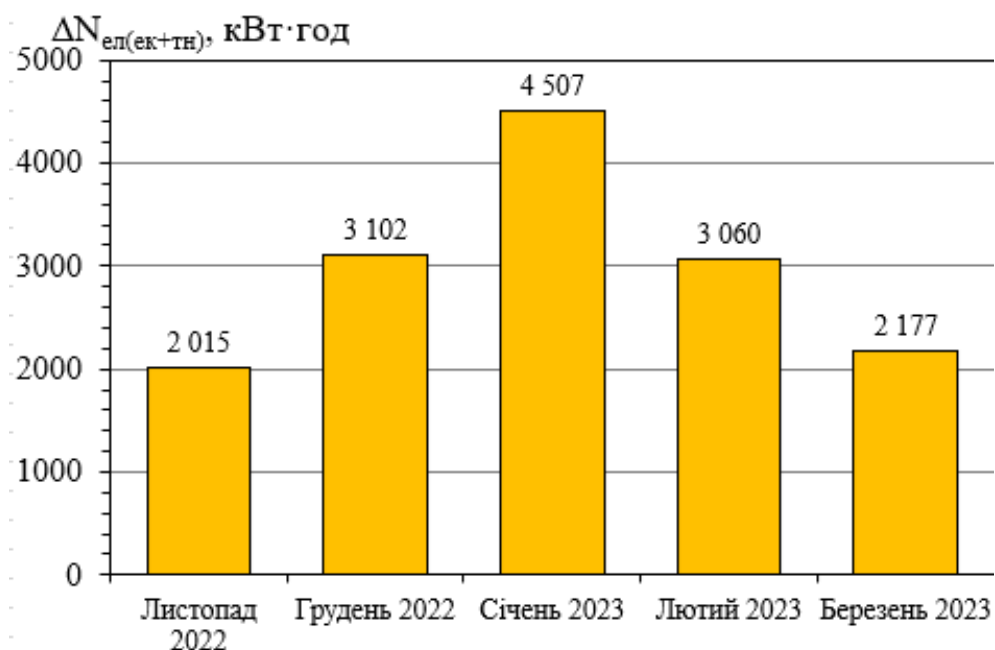


Рис. 4.11. Скорочення витрати електричної енергії для схеми з комбінованим застосуванням електрокотла та теплового насосу за 2022-2023 опалювальний період.

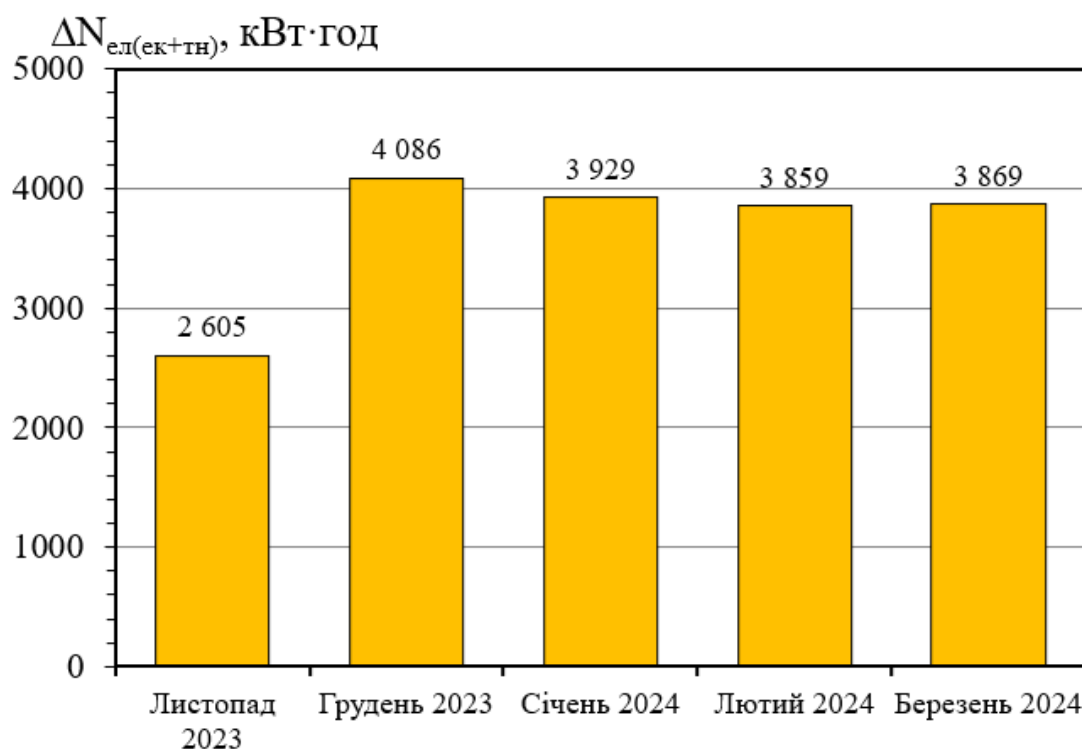


Рис. 4.12. Скорочення витрати електричної енергії для схеми з комбінованим застосуванням електрокотла та теплового насосу за 2023-2024 опалювальний період.

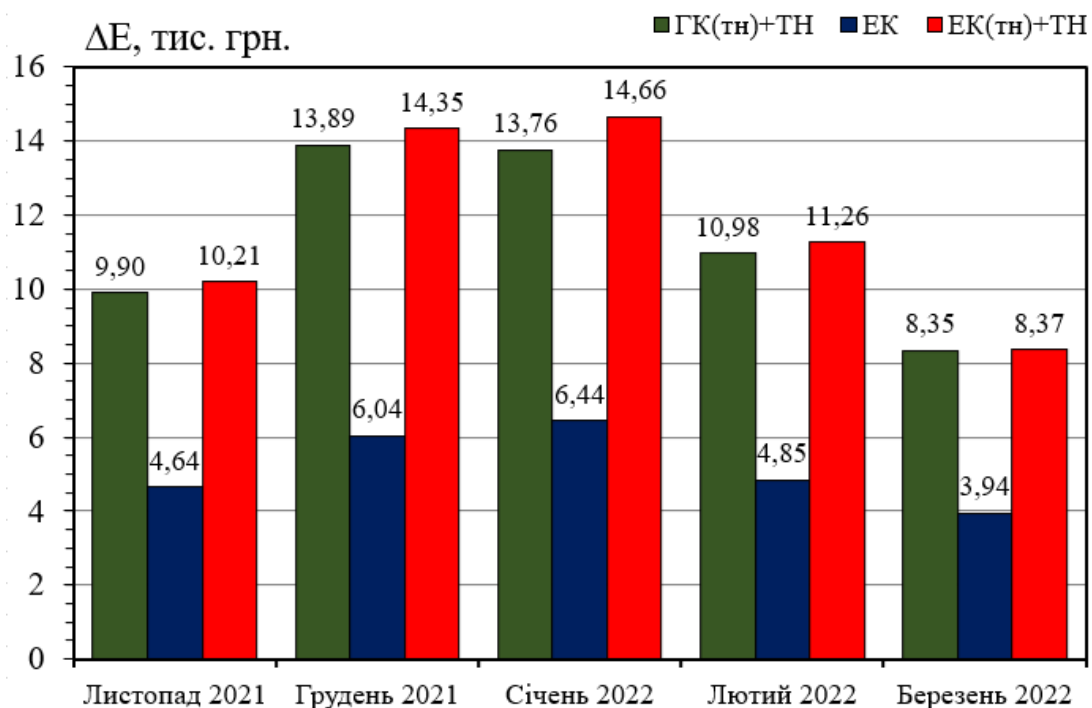


Рис. 4.13. Економія коштів від скорочення витрати електричної енергії для схеми з комбінованим застосуванням електродкотла та теплового насосу за 2021-2022 опалувальний період (грн).

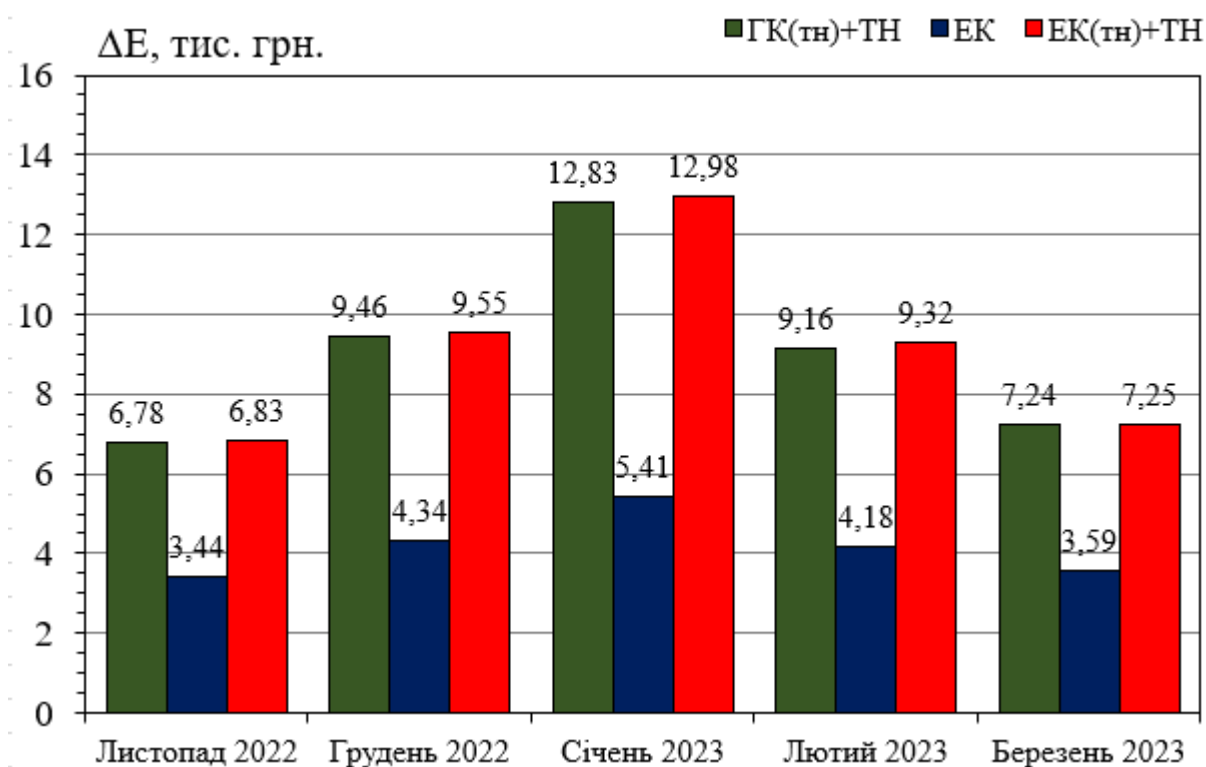


Рис. 4.14. Економія коштів від скорочення витрати електричної енергії для схеми з комбінованим застосуванням електродкотла та теплового насосу за 2022-2023 опалувальний період (грн).

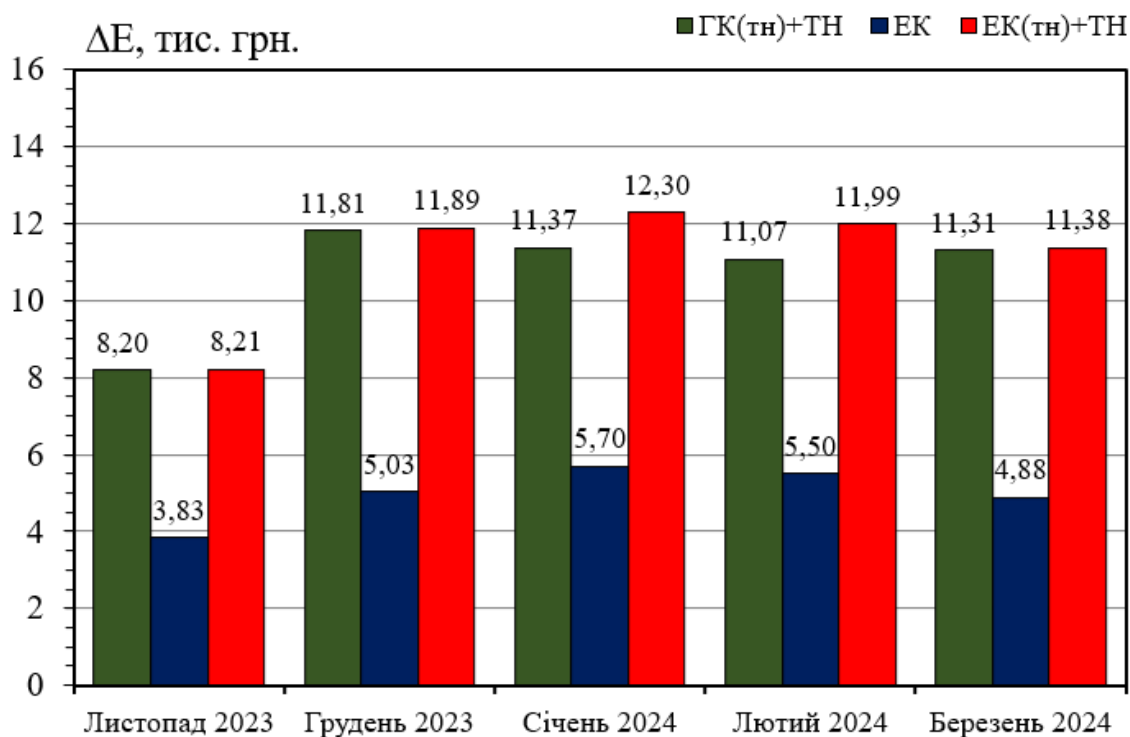


Рис. 4.15. Економія коштів від скорочення витрати електричної енергії для схеми з комбінованим застосуванням електрокотла та теплового насосу за 2023-2024 опалувальний період (грн).

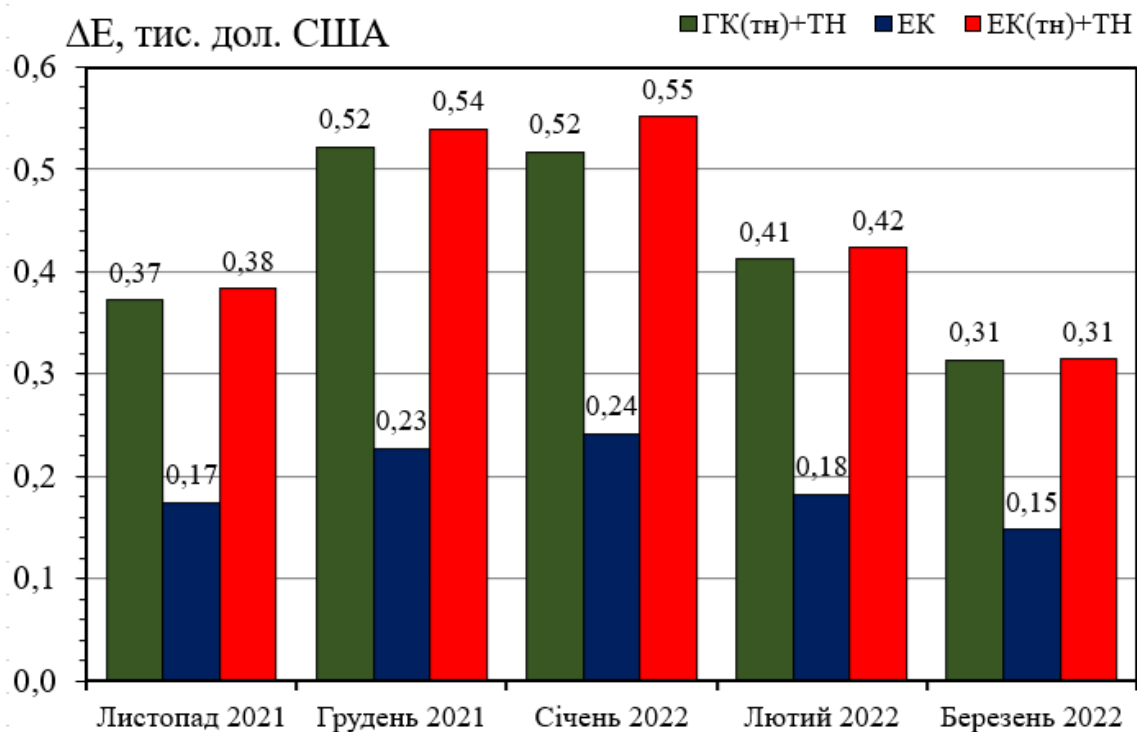


Рис. 4.16. Економія коштів від скорочення витрати електричної енергії для схеми з комбінованим застосуванням електрокотла та теплового насосу за 2021-2022 опалувальний період (дол. США).

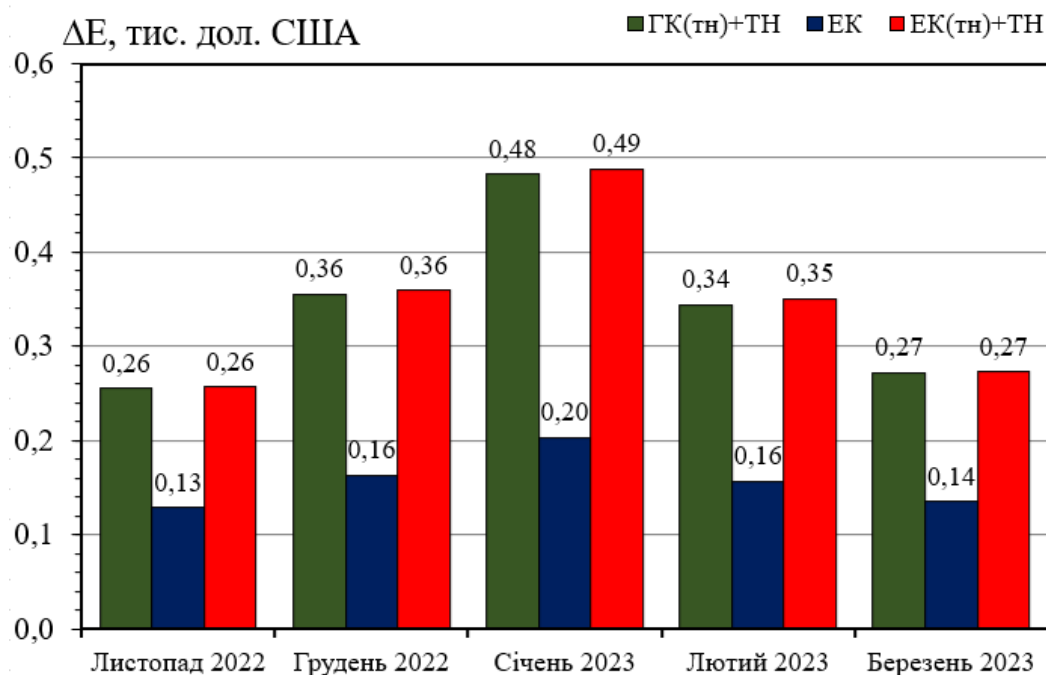


Рис. 4.17. Економія коштів від скорочення витрати електричної енергії для схеми з комбінованим застосуванням електродкотла та теплового насосу за 2022-2023 опалювальний період (дол. США).

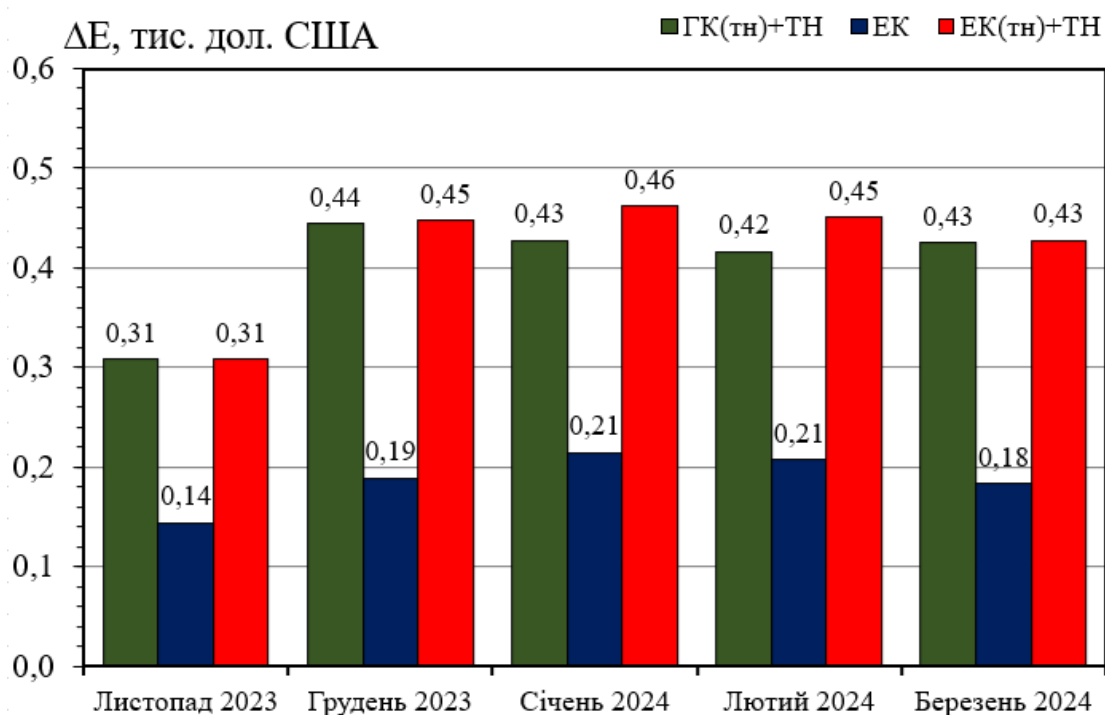


Рис. 4.18. Економія коштів від скорочення витрати електричної енергії для схеми з комбінованим застосуванням електродкотла та теплового насосу за 2023-2024 опалювальний період (дол. США).

4.3. Оцінка економії коштів за рахунок застосування схемних рішень для системи опалення за опалювальний період протягом трьох років.

Аналіз сумарного скорочення електричної енергії по роках показує, що застосування електроопалення по комбінованій схемі (електричний котел сумісно із тепловим насосом) в залежності від температури зовнішньої повітря та споживачів складає 15–17 тис. кВт·год на рік, що відповідає 35–50% в порівнянні із базовим варіантом із газовим котлом. При цьому економія коштів складає 45–58 тис. грн на рік (рис. 4.19) або 1,7–2,2 тис. дол. США (рис. 4.20).

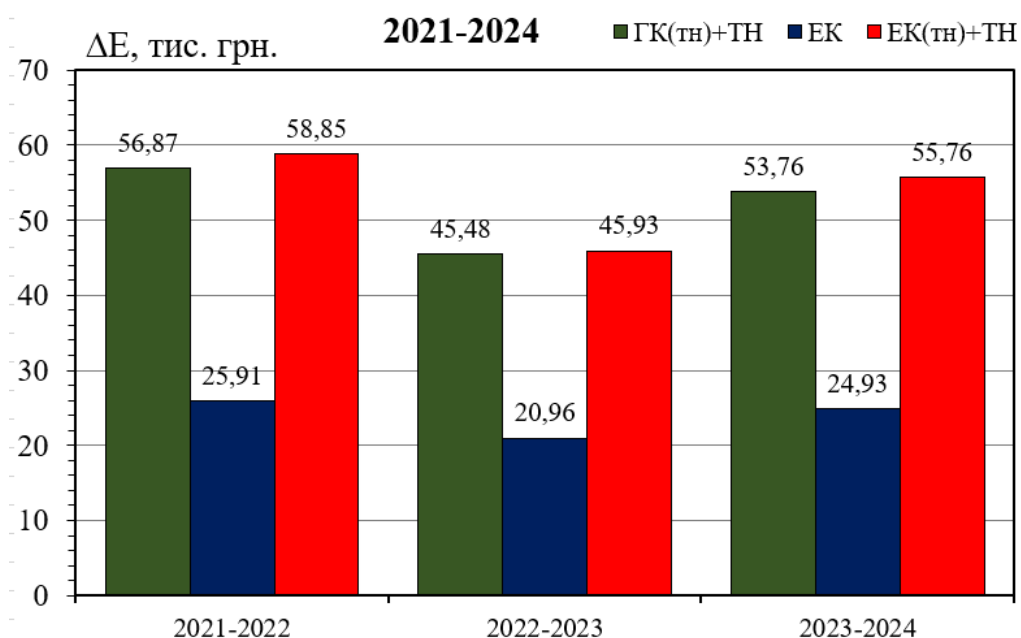


Рис. 4.19. Економія коштів за рахунок скорочення витрати електричної енергії для схеми з комбінованим застосуванням електродкотла та теплового насоса теплопостачання за 2021-2024 роки (грн).

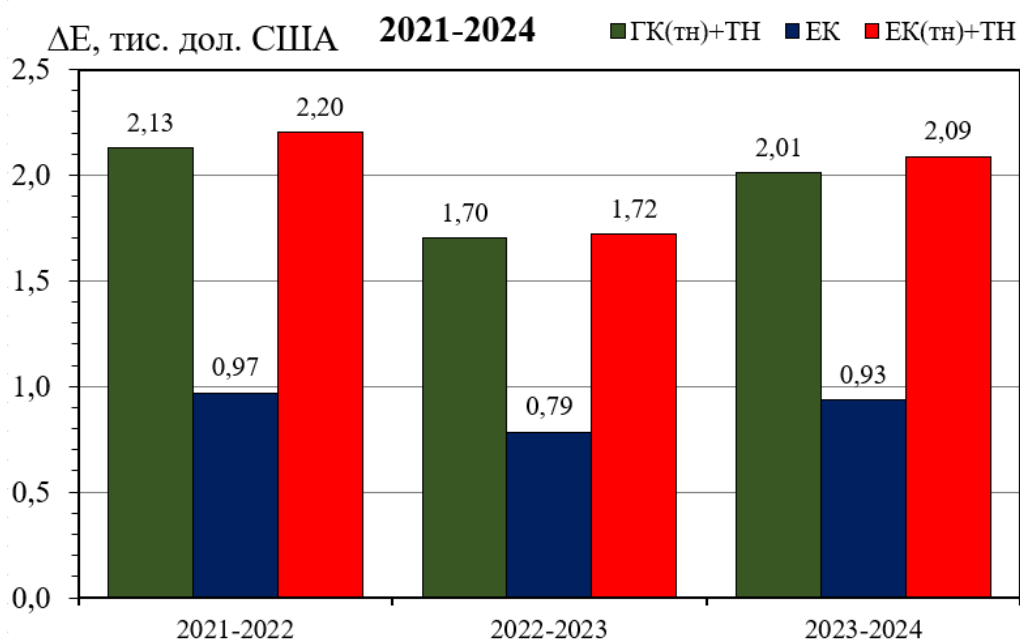


Рис. 4.20. Економія коштів за рахунок скорочення витрати електричної енергії для схеми з комбінованим застосуванням електродкотла та теплового насосу за 2021-2024 роки (дол. США).

4.4. Висновки по розділу 4.

1. Розраховано та проаналізовано енергетичні характеристики чотирьох варіантів схемних рішень системи опалення на основі електричного котла, теплового насосу та газового конденсаційного котла за різних температурних режимів теплоносія.

2. Визначено, що застосування електричного котла в комбінації з тепловим насосом забезпечує скорочення споживання електричної енергії на 14,0–19,0 тис. кВт·год (35–50%) протягом опалювального періоду порівняно з використанням лише електричного котла.

3. Встановлено, що впровадження комбінованої системи опалення на основі електричного котла та теплового насосу забезпечує економічний ефект у розмірі 45–58 тис. грн на рік (1,7–2,2 тис. дол. США) порівняно з базовим варіантом.

4. Визначено, що найменший абсолютний ефект від енергозбереження спостерігається у листопаді – 2,6 тис. кВт·год (48% відносного скорочення), що відповідає економії 8,2 тис. грн на місяць (0,31 тис. дол. США) порівняно з базовим варіантом системи опалення.

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

					ВКР.144.6241мх.05.05.ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
					Розділ з охорони праці	Літ.	Арк.
Студент		Соляник М.Ю.					Аркушів
Керівник		Кобалава Г.О.					
Консульт.						НУК	

5. РОЗДІЛ 3 ОХОРОНИ ПРАЦІ

5.1. Заходи з охорони праці при експлуатації котелень. Нормативна база та загальні положення.

Державні будівельні норми України «Котельні» (ДБН В.2.5-77:2014) встановлюють вимоги до проектування котелень (котельних установок) незалежно від їх продуктивності. Ці норми застосовуються при новому будівництві, реконструкції, капітальному ремонті та технічному переоснащенні існуючих котелень з паровими, водогрійними і пароводогрійними котлами. Вони чинні з 01.01.2015 року і замінюють СНиП II-35-76 «Котельные установки».

Проектування котелень має забезпечувати механізацію та автоматизацію технологічних процесів, безпечне й зручне обслуговування обладнання, а також мінімальну протяжність комунікацій. У котельнях застосовуються котли та теплогенератори заводського виготовлення.

Класифікація та обмеження щодо розміщення котелень

Котельні класифікуються за кількома ознаками:

- За призначенням: опалювальні, виробничо-опалювальні, виробничі.
- За планувальним рішенням: окремо розташовані, прибудовані, вбудовані, дахові.
- За надійністю відпуску теплоносія: першої або другої категорії надійності.

Для житлових, громадських та виробничих будівель допускається проектування прибудованих та дахових котелень. Дахові котельні повинні працювати на природному газі, з водогрійними котлами (температура води не вище 115 °C).

Основні обмеження щодо розміщення:

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

1. Продуктивність прибудованих та дахових котелень для житлових і громадських будівель не повинна перевищувати 5,0 МВт, при цьому одинична потужність котла без барабанів має бути не більше 1,25 МВт.

2. Забороняється встановлення котлів або теплогенераторів на рідкому паливі (температура спалаху парів нижче 61 °С) або на газоподібному паливі у підвальних (підземних) поверхах. Для дахових котелень використовується природний газ.

3. Не допускається розміщення котелень, що безпосередньо примикають зверху або збоку до житлових приміщень квартир.

4. У районах із сейсмічністю 7 балів і більше необхідно передбачати котли та обладнання, конструкція яких розрахована заводом-виробником для встановлення в таких районах.

При проектуванні котелень у приватних будинках, особливо газових, необхідно дотримуватися мінімальних вимог до приміщення:

- Об'єм приміщення: залежить від загальної теплової потужності обладнання, наприклад, для потужності від 60 кВт до 200 кВт об'єм має бути не менше 15,0 м³. Для агрегатів до 30 кВт мінімальний об'єм становить 7,5 м³.

- Висота: Не менше 2,5 м (допускається 2 м при потужності обладнання менше 60 кВт).

- Вентиляція: Повинна бути природна вентиляція, що забезпечує трикратний повітрообмін на годину (витяжка), а приплив має бути в об'ємі витяжки плюс додаткова кількість повітря на горіння газу.

- Освітлення: Необхідна наявність природного освітлення, де площа скління віконних прорізів має бути не менше 0,03 м² на 1 м³ об'єму приміщення. Вікно повинно мати кватирку або фрамугу, що відкривається назовні.

Для приміщень котельного залу вбудованих і дахових котелень при використанні газоподібного чи рідкого палива слід передбачати зовнішні

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

легкоскидні огорожувальні конструкції, площа яких має становити не менше 0,05 м² на 1 м³ об'єму приміщення.

5.2. Електробезпека та експлуатація електроустановок.

Працівники, які обслуговують електроустановки, повинні мати відповідну групу з електробезпеки.

Для одержання груп II–III працівники мають:

- Чітко усвідомлювати небезпеку, пов'язану з роботою в електроустановках.
- Знати і вміти застосовувати на практиці Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів (ПБЕЕС) та інші правила безпеки в обсязі, потрібному для роботи, яка виконується.
- Знати будову і улаштування електроустановок.
- Вміти практично надавати першу допомогу потерпілим у разі нещасних випадків, включаючи штучне дихання та зовнішній масаж серця.

Працівнику, який пройшов перевірку знань, видається посвідчення, яке він повинен мати при собі під час роботи.

Діелектричні засоби індивідуального захисту (ДЗІЗ) є надійним щитом від електрики, до них належать рукавички, боти та килимки. Наприклад, існують рукавички, випробувані до 10 кВ, та діелектричні боти, випробування яких становить 20 кВ.

У разі ураження електричним струмом необхідно негайно звільнити потерпілого від дії струмопровідних частин обладнання, оскільки судоми м'язів заважають людині самотійно відірватися від провідника. Для звільнення потерпілого можна відключити струм, або використати сухий одяг, палицю, сухі рукавиці чи діелектричні рукавиці.

Надання першої допомоги:

- Якщо потерпілий непритомний, але дихає, його потрібно покласти горизонтально, розстебнути комір і пасок, дати нюхати нашатирний спирт і викликати лікаря.

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

- Якщо потерпілий не дихає або дихає уривчасто, слід робити штучне дихання і непрямий масаж серця.

- Потерпілого, який оговтався, необхідно доставити до лікувального закладу для спостереження, оскільки наслідки можуть проявитися пізніше.

5.3. Організаційно-технічні заходи та розслідування інцидентів.

Наряд-допуск – це розпорядження, складене на спеціальному бланку, яке забезпечує безпечне проведення робіт, визначаючи їх зміст, місце, час, заходи безпеки, склад бригади та відповідальних осіб. Наряд-допуск виписується у двох примірниках.

Відповідальні особи за безпеку робіт за нарядами-допусками: особа, що видає наряд-допуск; відповідальний керівник робіт; відповідальний робітник (спостерігач); допускаючий до роботи; члени бригади.

Вимоги до заповнення наряду-допуску: Записи мають бути розбірливими, забороняється заповнення олівцем та виправлення тексту.

3.2 Розслідування нещасних випадків на виробництві

Розслідування та облік нещасних випадків, професійних захворювань і аварій на виробництві регулюється Порядком, затвердженим постановою Кабінету Міністрів України від 25 серпня 2004 р. № 1112.

Випадки, що підлягають розслідуванню: Раптове погіршення стану здоров'я, травма, гостре професійне захворювання/отруєння, тепловий удар, ураження електричним струмом, утоплення, що призвело до втрати працездатності на один робочий день або більше, або до смерті.

Дії у разі нещасного випадку:

1. Потерпілий або свідок повинен негайно повідомити безпосереднього керівника і надати допомогу.

2. Керівник робіт терміново організовує першу медичну допомогу та доставку до закладу.

3. Роботодавець, одержавши повідомлення, зобов'язаний утворити комісію з розслідування (не менше трьох осіб).

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

4. Строк розслідування становить три доби.

5. Результати розслідування оформлюються актом форми Н-5 та актом форми Н-1 (якщо випадок пов'язаний з виробництвом) або НПВ (якщо не пов'язаний).

Спеціальному розслідуванню підлягають нещасні випадки із смертельними наслідками, групові нещасні випадки (з двома і більше працівниками), випадки смерті працівників на підприємстві, зникнення працівників під час виконання обов'язків, а також випадки з тяжкими наслідками. Спеціальне розслідування проводиться протягом 10 робочих днів

5.4. Висновки по розділу 5.

Представлений розділ, що ґрунтується на нормативних документах, включаючи ДБН В.2.5-77:2014 «Котельні», Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів та Порядок розслідування нещасних випадків, комплексно охоплює критичні вимоги до безпечного проектування, експлуатації та обслуговування котелень та енергетичного обладнання.

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

					КР.144.6241мх.05.06.ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
					Заключний розділ	Літ.	Арк.	Аркушів
Студент	Соляник М.Ю.							
Керівник	Кобалава Г.О.							
Консульт.						НУК		

ВИСНОВКИ

1) Розглянуто розвиток та інтеграцію розумних енергетичних систем, зосереджуючись на еволюції централізованого теплопостачання від третього до четвертого (4GDH) і п'ятого (5GDH) поколінь. Вказано ключові показники ефективності (KPIs) для оцінки сталості та енергоефективності як розумних міст, так і окремих будівель, часто через впровадження інформаційно-комунікаційних технологій (ІКТ) та пристроїв, таких як розумні клапани. Крім того, розглянуто застосування машинного навчання для прогнозування теплового навантаження та оптимізації роботи систем, а також проблеми та переваги використання теплових акумуляторів.

2) Представлені основні методи дослідження для отримання даних щодо енергетичної ефективності запропонованих рішень, а також методи оцінки споживання теплової та електричної енергії в сучасних будівлях.

3) Наведено аналіз метеорологічних даних регіону, де розташовано досліджувану будівлю та показана зміна температур зовнішнього повітря на протязі останніх 2021-2024 років і встановлено, що розподіл температур більш відповідає комбінованій системі електричного опалення із застосування теплового насосу разом із електрочотлом.

4) Наведено основні залежності теплотехнічного розрахунку та запропоновано технічні рішення для системи електричного опалення, зокрема для аналізу обрано: застосування тільки газового котла в погодозалежному режимі регулювання теплоти; застосування тільки електричного котла в погодозалежному режимі регулювання теплоти; сумісне застосування газового котла та теплового насосу в погодозалежному режимі, газовий котел включається; сумісне застосування електрично котла та теплового насосу в погодозалежному режимі.

5) Отримано емпіричні залежності коефіцієнта трансформації теплоти та теплового навантаження для розрахунку системи опалення в

					ВКР.144.6241мх.05.06.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		84

залежності від значень початкової температури теплоносія на вході та температури зовнішнього повітря.

6) Встановлено, що застосування електричного котла раціональне при комбінованому застосування разом із тепловим насосом, що, в свою чергу, забезпечує зменшення споживання електричної енергії на електрокотел на 14,0–19,0 тис. кВт·год (35–50%) протягом одного опалювального періоду.

7) Встановлено, що економічний ефект від застосування електричного опалення в комбінації електрокотел та тепловий насос забезпечує економію коштів 45–58 тис. грн на рік (1,7–2,2 тис. дол. США).

8) Визначені заходи з охорони праці та вимоги до безпечного проєктування, експлуатації та обслуговування котелень та енергетичного обладнання.

					ВКР.144.6241мх.05.06.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		85

ЛІТЕРАТУРА

1. Що таке Smart Grid? - NV, <https://nv.ua/ukr/ukraine/so-skorostyu-sveta/shcho-take-smart-grid-50055452.html>
2. 8 Fourth-generation DHC systems - IRENA, <https://www.irena.org/Innovation-landscape-for-smart-electrification/Power-to-heat-and-cooling/8-Fourth-generation-DHC-systems>
3. 9 Fifth-generation DHC systems - IRENA, <https://www.irena.org/Innovation-landscape-for-smart-electrification/Power-to-heat-and-cooling/9-Fifth-generation-DHC-systems>
4. Millar, M.-A., Elrick, B., Jones, G., Yu, Z., & Burnside, N. M. (2020). Roadblocks to Low Temperature District Heating. Energies, 13(22), 5893. <https://doi.org/10.3390/en13225893>.
5. Optimisation with AI in District Energy Systems | DBDH, <https://dbdh.org/all-about-district-energy/technology/monitoring-and-control/optimisation-and-ai/>
6. Machine learning in district heating system energy optimization | Request PDF, https://www.researchgate.net/publication/269306985_Machine_learning_in_district_heating_system_energy_optimization
7. Економія енергії за допомогою теплового насоса: оптимальне налаштування регулятора, <https://onninen.ua/stattya/saving-energy-using-a-heat-pump-optimal-controller-setting>
8. IoT-рішення для менеджменту нерухомості: нові можливості Real Estate - Wezom, <https://wezom.com.ua/ua/blog/iot-rishennya-dlya-menedzhmentu-neruhomosti-novi-mozhливosti-real-estate>
9. How Do Smart Valves Work? - FloControl Ltd, <https://www.flocontrol.ltd.uk/smart-valves-explained/>
10. Геотермальні теплові насоси та централізована геотермальна мережа для опалення будинків | ТОВ «Сахара», <https://caxapa.ua/kompaniya-statti-teploviv>

[nasosi-ta-tsentralizovana-geotermalna-merezha-ekologichne-rishennja-dlja-najvischoji-efektiv](#)

11. Теплові насоси та сонячні панелі в житлових комплексах: реальність чи перспектива?, <https://quoroom.group/news/teplovi-nasosi-ta-sonyachni-paneli-v-zhitlovih-kompleksah-realnist-chi-perspektiva/>

12. Thermal Energy Storage (TES), <https://www.renewablethermal.org/thermal-energy-storage-tes/>

13. KPIs for S.M.A.R.T. Cities - ResearchGate, https://www.researchgate.net/publication/306285812_KPIs_for_SMA_RT_Cities

14. Key Performance Indicators (KPIs) and needed data - European Commission, <https://ec.europa.eu/research/participants/documents/downloadPublic?documentIds=080166e5b5e9805a&appId=PPGMS>

15. Наказ “Про затвердження Методики визначення енергетичної ефективності будівель” - Державна регуляторна служба України, <https://www.drs.gov.ua/wp-content/uploads/2018/07/9719-09.07.2018.pdf>

16. Модернізація системи опалення у багатоквартирних будинках: економія, https://eefund.org.ua/wp-content/uploads/2024/06/modernizacziya_systemy_opalennya_u_bagatokvartyrnyh_budynkah.pdf

17. ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКА (144), <http://lib.kart.edu.ua/bitstream/123456789/8561/1/Aleksakhin.pdf>

18. The benefits of 4th generation district heating in a 100% renewable energy system, https://www.researchgate.net/publication/346242123_The_benefits_of_4th_generation_district_heating_in_a_100_renewable_energy_system

19. 4th Generation District Heating (4GDH), https://www.sdu.dk/-/media/files/om_sdu/institutter/iti/forskning/nato+arw/literature/4th+generation+district+heating+4gdh.pdf

					ВКР.144.6241мх.05.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		87

20. Аналіз бар'єрів для впровадження енергоефективних проєктів в Україні в умовах військової кризи та початкового етапу відновлення, <https://energy.kpi.ua/article/view/339794>

21. Дорошенко Ю. І. Огляд сучасних систем опалення та методик дослідження впливу температурних режимів на ефективність їх експлуатації в умовах сільського населеного пункту / Ю. І. Дорошенко // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. 2014. № 1. С. 107-118. Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/rnng_r_2014_1_15.

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

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

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

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

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

27. Про Концепцію діяльності органів виконавчої влади у забезпеченні

					ВКР.144.6241мх.05.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		88

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>.

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

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

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

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

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

33. 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>.

34. 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>.

35. 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.

36. Про заходи з модернізації систем теплопостачання Постанова

					ВКР.144.6241мх.05.00.ПЗ	Лист
						89
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Кабінету Міністрів України від 20.05.2009 р. № 682 [Електронний ресурс].
Режим доступу: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/682-2009-п>.

37. 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>.

38. 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>.

39. 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>.

40. 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>.

41. 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>

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

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

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

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

45. Kobalava H., Solianyk M. Thermodynamic Process Analysis in Thermopressors: Applications to Contact Cooling Systems. Інновації в суднобудуванні та океанотехніці: Матеріали XV Міжнародної науково-технічної конференції. Миколаїв, НУК, 2024. С. 371–374.

46. Соляник М.Ю., Яровий О.С., Комар В.П. Дослідження енергоефективності системи теплопостачання житлової будівлі / Тези допов. ІХ Всеукр. наук.-практ. конф. студентів, аспірантів і молодих учених «Актуальні проблеми сучасної енергетики», Хмельницький, 22 травня 2025р. – Херсон: ХНТУ, 2025. С.53-54.

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