

Подільський державний університет
Факультет енергетики та інформаційних технологій
Кафедра енергозберігаючих технологій та енергетичного менеджменту

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:

**Оптимізація системи тепlopостачання житлового будинку з метою
підвищення енергоефективності**

Виконав:

здобувач вищої освіти денної форми
навчання освітнього ступеня «Магістр»,
освітньо-професійної програми 141.05
«Енергетичний менеджмент» спеціальності
«Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка»

_____ **Владислав ВИШНЕВСЬКИЙ**

Керівник: канд. технічн. наук, доцент

_____ **Віктор ДУБІК**

Оцінка захисту:

Національна шкала _____

Кількість балів _____ Шкала ECTS _____

Допускається до захисту:

« ____ » _____ 2025р.

Член проектної групи ОП

141.05 «Енергетичний

менеджмент»

спеціальності «Електроенергетика,

електротехніка та електромеханіка»

кандидат економ. наук, доцент _____ **Андрій ПЕЧЕНЮК**

м. Кам'янець-Подільський, 2025р.

ЗМІСТ

ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1. ВІДОМОСТІ ПРО ОБ’ЄКТ ДОСЛІДЖЕННЯ	9
1.1. Характеристика об’єкта дослідження.....	9
1.2. Показники клімату та параметри мікроклімату.....	10
1.3. Обсяг споживання теплоносіїв за рік.....	11
РОЗДІЛ 2. ПРОЄКТУВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ.....	14
2.1 Оцінка стану огорожувальних конструкцій будівлі.....	14
2.1.1. Оцінка технічного стану стін.....	14
2.1.2. Оцінка технічного стану огорожувальних світлопрозорих конструкцій.....	16
2.1.3. Комплексна оцінка технічного стану дверей та покрівельного покриття	17
2.1.4 Рекомендації з удосконалення огорожувальних конструкцій ..	19
2.2 Обчислення теплових втрат на опалення	19
2.3 Визначення додаткових втрат тепла та теплових надходжень	21
2.3.1 Теплові втрати внаслідок інфільтрації	21
2.3.2 Втрати теплової енергії через трубопроводи опалювальної системи.....	22
2.3.3 Виділення тепла мешканцями будинку.....	22
2.3.4 Надходження тепла від сонячного випромінювання	23
2.3.5 Теплове навантаження вентиляційної системи	24
2.3.6 Повне теплове навантаження на приміщення	24
2.4 Електричні розрахунки.....	25

	3
2.4.1 Теплопередача через трансмісію	25
2.4.2 Втрати тепла через вентиляцію	29
2.4.3 Повні втрати теплової енергії.....	31
2.4.4 Розрахунок тепlopоступлень від внутрішніх джерел.....	32
2.4.5 Розрахунок теплових надходжень від сонця	34
2.4.6 Загальні надходження теплової енергії.....	39
2.4.7 Аналіз динамічних показників	40
2.4.8 Визначення енерговитрат, необхідних для опалення й охолодження приміщень.	40
2.5 Аналіз системи електропостачання	41
2.5.1 Оцінка силового навантаження на основі методики.....	41
2.5.2 Оцінка електричного навантаження з урахуванням встановлених електрокотлів.....	45
2.5.3 Принципи проєктування електропостачання житлових квартир	48
Висновки до розділу	51
РОЗДІЛ 3. Раціоналізація системи тепlopостачання.....	52
3.1 Визначення ключових проблемних питань.....	52
3.2 Характеристика системи тепlopостачання	57
3.2.1 Опис структури та роботи теплопункту.....	57
3.2.2 Характеристика трубопровідних систем.....	60
3.3. Контроль температурного режиму трубопроводу центрального опалення.	63
3.4. Визначення споживаної енергії будівлі.....	66
3.4.1 Сумарне енергоспоживання підсистеми тепловіддачі при опаленні.....	67

3.4.2 Вхідна енергія підсистеми тепловіддачі	68
3.4.3 Розрахунок енергоспоживання підсистеми розподілення для опалення.....	70
3.4.4 Потік енергії, що надходить до підсистеми розподілу	72
3.4.5 Втрати тепла в системі виробництва теплової енергії.....	73
3.4.6 Вимоги до теплової енергії для опалювальних потреб	74
3.5 Електроопалення.....	76
3.6. Захист трубопроводу від тепловтрат	77
3.7. Оцінка економічних показників.....	79
3.7.1. Окупність встановлення індивідуальних електричних котлів...	80
3.7.2. Окупність утеплення магістралей опалювальної системи	83
Висновки до розділу	84
ВИСНОВОК.....	86
Список літературних джерел	88
ДОДАТКИ.....	92

Реферат

Кваліфікаційна робота магістра складається з пояснювальної записки, виконаної машинописним способом на 87 аркушах формату А4, вміщує 3 розділи, 31 таблиця 19 рисунки, 28 літературних джерела, та презентаційного матеріалу на 12 аркушах.

Магістерська робота присвячена підвищенню енергоефективності житлового будинку шляхом оптимізації системи теплопостачання. Дослідження показало, що впровадження запропонованих заходів є економічно виправданим і не потребує значних інвестицій, забезпечуючи швидку окупність.

Метою даної роботи є розробка заходів щодо оптимізації системи теплопостачання житлового будинку з урахуванням енергозберігаючих рішень та підвищення її енергоефективності.

Проведено аналіз існуючої системи теплопостачання та оцінити її технічний стан. Визначено тепловтрати та енергоспоживання будівлі з урахуванням кліматичних умов і внутрішніх джерел тепла. Розроблено заходи щодо зменшення тепловтрат і підвищення ефективності роботи системи опалення. Проведено економічну оцінку запропонованих заходів та визначити їх доцільність.

Актуальність теми обумовлена зростаючими вимогами до енергозбереження, необхідністю скорочення експлуатаційних витрат та прагненням забезпечити комфортні умови проживання при мінімальному споживанні енергоресурсів.

Ключові слова: ТЕПЛОПОСТАЧАЮЧІ СИСТЕМИ; СИСТЕМА ОПАЛЕННЯ; ЖИТЛОВИЙ БУДИНОК; ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ; ОПТИМІЗАЦІЯ ТЕПЛОВИХ РЕЖИМІВ; ТЕПЛОВІ ВТРАТИ; ТЕПЛОВИЙ БАЛАНС БУДІВЛІ; ІНДИВІДУАЛЬНИЙ ТЕПЛОВИЙ ПУНКТ (ІТП); ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЯ ОГОРОДЖУВАЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ; МОДЕРНІЗАЦІЯ СИСТЕМИ ОПАЛЕННЯ; СПОЖИВАННЯ ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ.

Анотація

Магістерська робота присвячена підвищенню енергоефективності житлового будинку шляхом оптимізації системи теплопостачання. Дослідження показало, що впровадження запропонованих заходів є економічно виправданим і не потребує значних інвестицій, забезпечуючи швидку окупність.

Метою даної роботи є розробка заходів щодо оптимізації системи теплопостачання житлового будинку з урахуванням енергозберігаючих рішень та підвищення її енергоефективності. Актуальність теми обумовлена зростаючими вимогами до енергозбереження, необхідністю скорочення експлуатаційних витрат та прагненням забезпечити комфортні умови проживання при мінімальному споживанні енергоресурсів.

Abstract

The master's thesis is devoted to increasing the energy efficiency of a residential building by optimizing the heat supply system. The study showed that the implementation of the proposed measures is economically justified and does not require significant investments, ensuring a quick payback.

The purpose of this work is to develop measures to optimize the heat supply system of a residential building, taking into account energy-saving solutions and increasing its energy efficiency. The relevance of the topic is due to the growing requirements for energy saving, the need to reduce operating costs and the desire to provide comfortable living conditions with minimal energy consumption.

ВСТУП

Сучасне житлове будівництво та експлуатація будинків вимагають значної уваги до ефективності використання енергетичних ресурсів. Однією з ключових складових енергоспоживання житлових об'єктів є система теплопостачання, яка забезпечує комфортні умови проживання та підтримує необхідний мікроклімат у приміщеннях. Разом із тим, нераціональна робота систем опалення, значні тепловтрати та застарілі технології призводять до підвищених витрат енергії та фінансових ресурсів, а також до негативного впливу на навколишнє середовище.

Проблема енергоефективності в теплопостачанні житлових будинків набуває особливої актуальності в умовах зростання цін на енергоносії та необхідності зниження викидів парникових газів. Оптимізація системи теплопостачання дозволяє не лише зменшити споживання теплової енергії, а й підвищити надійність та стабільність функціонування системи, поліпшити умови проживання та скоротити експлуатаційні витрати.

Метою даної роботи є розробка заходів щодо оптимізації системи теплопостачання житлового будинку з урахуванням енергозберігаючих рішень та підвищення її енергоефективності. Для досягнення цієї мети передбачено вирішення таких завдань:

Провести аналіз існуючої системи теплопостачання та оцінити її технічний стан.

Визначити тепловтрати та енергоспоживання будівлі з урахуванням кліматичних умов і внутрішніх джерел тепла.

Розробити заходи щодо зменшення тепловтрат і підвищення ефективності роботи системи опалення.

Провести економічну оцінку запропонованих заходів та визначити їх доцільність.

Актуальність теми обумовлена зростаючими вимогами до енергозбереження, необхідністю скорочення експлуатаційних витрат та прагненням забезпечити комфортні умови проживання при мінімальному споживанні енергоресурсів.

Об'єктом дослідження є система теплопостачання житлового будинку. Предметом дослідження – процеси теплопостачання та енергоефективність системи опалення житлового будинку.

Публікації: Владислав ВИШНЕВСЬКИЙ. АНАЛІЗ РОЗПОДІЛУ ТЕПЛОВТРАТ В БАГАТОПОВЕРХОВОМУ БУДИНКУ / Владислав ВИШНЕВСЬКИЙ, Віктор ДУБІК // Ефективне використання енергії: стан і перспективи. Збірник наукових праць V Всеукраїнської студентської науково-практичної конференції. 12 листопада 2025 р. (ЗВО «ПДУ», м. Кам'янець-Подільський). – Кам'янець-Подільський, 2025. – С. 170-173.

РОЗДІЛ 1. ВІДОМОСТІ ПРО ОБ'ЄКТ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1. Характеристика об'єкта дослідження

Предметом дослідження визначено житловий будинок (рис. 1.1), розташований у м. Хмельницький пр Миру 28. Початково зведена у 2000-х роках, споруда пройшла реконструкцію і була здана в експлуатацію у 2014 році. Ця реконструкція співпала у часі з прибудовою сучасного житлового комплексу (7 та 14 поверхів) із паркінгом, який тепер прилягає до правого боку будинку 14. Слід зазначити, що ліва сторона об'єкта дослідження є відкритою на вулицю та оснащена суцільною утепленою стіною.

Цокольний поверх займає Магазин, який забезпечений автономним нагрівом води для потреб опалення та ГВП. Житлова частина, яка була обстежена, складається з чотирьох поверхів, на яких розміщено вісім квартир. Параметри обстеженої площі включають опалювальну площу 914,358 м² та стандартну висоту поверхів 3,854 м.



Рис.1.1 – Будинок

Будівельні конструкції будинку забезпечують сучасні теплозахисні властивості, що досягається за рахунок таких рішень:

- Стінові конструкції: Товщина стін складає дві з половиною суцільної цегли.
- Віконні конструкції: Встановлені склопластикові вікна, деякі з яких мають дерев'яне оздоблення. Всі вони обладнані двокамерним склінням (три скла) з інертним газом між ними. Скло має селективне (низькоемісійне) покриття.

Дверні конструкції: Двері в квартирах мають внутрішнє утеплення. Вхідні двері виконані з дерева, оснащені однокамерним склінням і мають ущільнення по периметру.

Обслуговування тепловою енергією здійснюється через тепловий пункт, який знаходиться не в об'єкті дослідження, а у сусідньому будинку за адресою Златоустівська, 16. Система обліку енергоресурсів передбачає використання як загальнобудинкового лічильника, розташованого безпосередньо у тепловому пункті, так і індивідуальних (поквартирних) лічильників для точного розрахунку споживання.

1.2. Показники клімату та параметри мікроклімату

Об'єкт знаходиться у першій кліматичній зоні. Прийнята розрахункова температура опалення складає -20 °С. Середньосезонна температура зовнішнього повітря за опалювальний період визначена на рівні $-0,15$ °С. Опалювальний період за нормами триває 176 діб. [1, 2].

Необхідно, щоб параметри мікроклімату житлових будівель відповідали санітарним вимогам. Це передбачає підтримання температури на рівні 22 °С, а також забезпечення відносної вологості повітря в приміщеннях у межах $25 - 60$ % згідно з [3].

1.3. Обсяг споживання теплоносіїв за рік

Офіційним постачальником теплової енергії виступає КП «Київтеплоенерго». Від них були отримані вихідні дані щодо фактичного споживання теплової енергії об'єктом за опалювальний період 23 23-23 24 рр. Ці показники споживання за вказаний період представлені та систематизовані у таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Споживання теплової енергії за 2323 2324 рр.

місяць	Загальний обсяг спожитої теплової енергії, Гкал	Обсяг теплової енергії витраченої на потреби ЦО, Гкал	Обсяг теплової енергії спожитої по показанням індивідуальних лічильників, Гкал	Обсяг теплової енергії витраченої на опалення МЗК, Гкал
жовтень	0,0	0,0	0,0	0,0
листопад	10,730	10,3670	9,70770	0,659300
грудень	25,85220	25,48620	8,96140	16,52480
січень	22,6420	22,030	13,09650	8,93350
лютий	16,79160	16,36 240	15,312200	1,04970
березень	13,24980	11,89560	9,3937	2,502400
квітень	1,25440	0,53520	2,29550	0

Щодо динаміки споживання теплової енергії, її графічне представлення буде розміщено на рисунку 1.2.

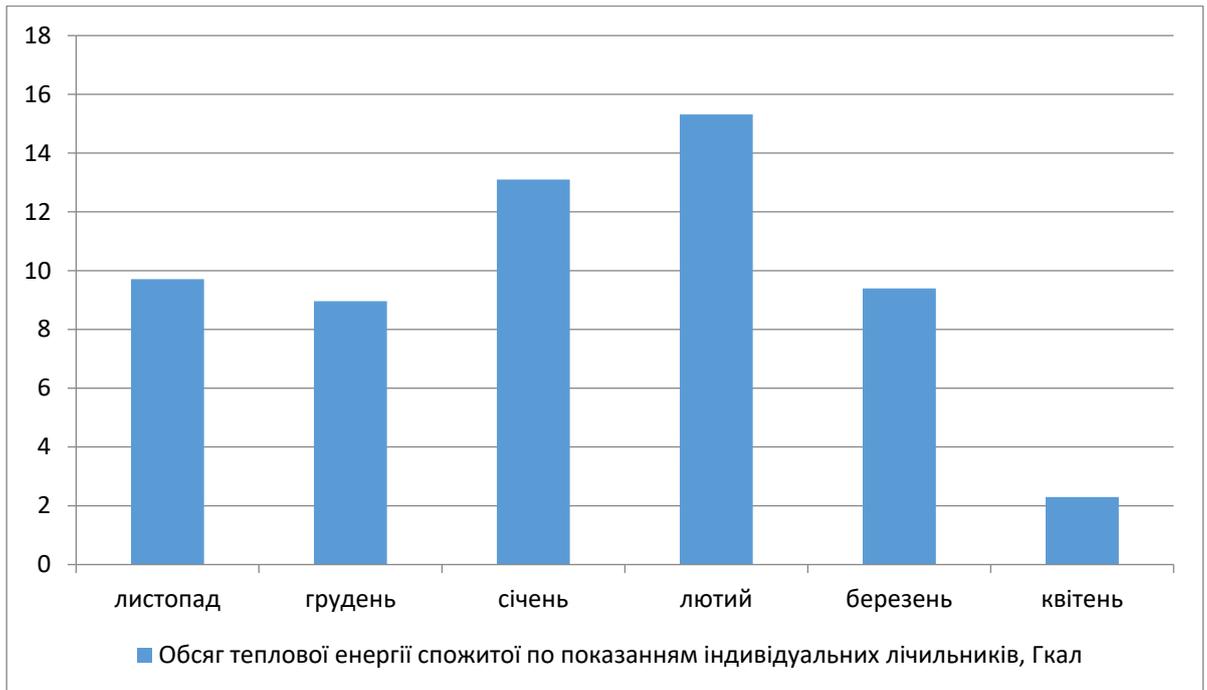


Рис.1.2 – Тенденції споживання теплової енергії впродовж 2023-2024рр.

Аналіз рисунку 1.2 показує, що споживання теплової енергії відповідає типовій динаміці, досягаючи максимуму протягом зимового періоду.

Також буде проведено аналіз динаміки зміни тарифів. Відповідні тарифи за останні роки будуть систематизовані у таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Вартість послуг з централізованого теплопостачання

дата	Тариф, грн/Гкал
31.10.2021	1866,24
31.10.2023	2162,23
31.10.2024	2296,93
31.10.2025	3846,71

Також, для наочного представлення, динаміку зміни тарифів зобразимо на рисунку 1.3.

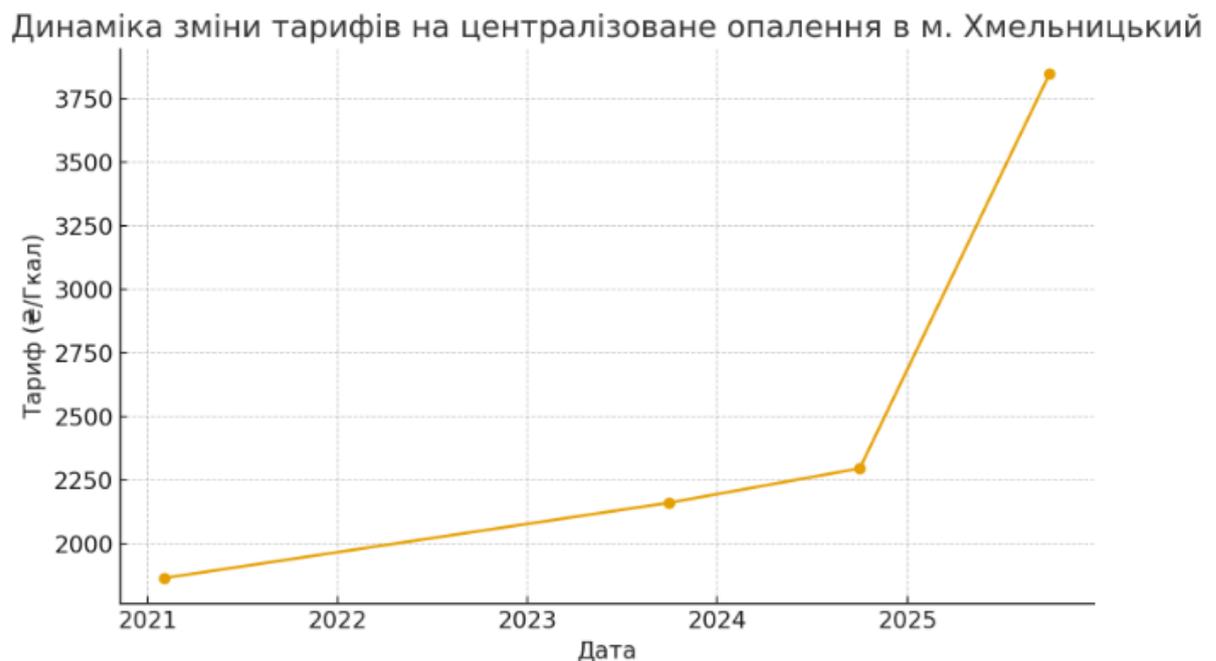


Рис. 1.3 – Зміна розмірів тарифів на послуги централізованого теплопостачання.

Аналізуючи графік на рисунку 1.3, бачимо, що тариф на опалення різко збільшився у 2016 році. Наступні три роки тариф тримався приблизно на одному рівні, а потім знову показав невелике зростання. Це дає підстави говорити, що тариф на опалення має загальну тенденцію до зростання.

РОЗДІЛ 2. ПРОЄКТУВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ

2.1 Оцінка стану огорожувальних конструкцій будівлі

2.1.1. Оцінка технічного стану стін

Будівельний матеріал стін — жовта цегла на цементно-піщаному розчині. Товщина конструкції дорівнює 2,5 цегли, зовнішнє покриття — фасадна штукатурка. Східна стіна має додаткове утеплення у вигляді 10 см шару мінеральної вати. Технічний стан стін оцінюється як гарний, руйнування та тріщини не зафіксовані. Площі стін за сторонами світу будуть представлені у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Площа стін з урахуванням їх орієнтації за сторонами світу.

Орієнтація стін	Площа
Південний захід, м ²	153,27
Південний схід, м ²	235,66
Північний схід, м ²	162,23
Північний захід, м ²	235,62

Для цілей розрахунку термічних опорів усі необхідні характеристики стін будуть систематизовані у таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Фізико-теплові параметри стінових матеріалів.

№ шару	Найменування	характеристики	
		λ , Вт/мК	δ , м
1	Штукатурка	0,71	0,0210
2	Жовта цегла на піщаному розчині	0,470	0,6251
3	Мінеральна вата	0,0441	0,11

Розрахуємо термічний опір неутеплених стін за формулою:

$$R_c = \frac{1}{\alpha_1} + \sum \frac{\delta_{ш}}{\lambda_{ш}} + \frac{1}{\alpha_2}, \quad (2.1)$$

де $\delta_{ш}$ - товщина шару матеріалу;

λ_1 - теплопровідність матеріалу;

α_1 - коефіцієнт тепловіддачі з внутрішньої сторони будівлі,

$$\alpha_1 = 8,74 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{°C}} \quad [4];$$

α_2 -коефіцієнт тепловіддачі з зовнішньої сторони будівлі,

$$\alpha_2 = 23,3 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{°C}}.$$

Значення повного термічного опору цегляних стін обчислюємо за формулою (2.1):

$$R_c = \frac{1}{8,7} + \frac{0,6254}{0,47} + \frac{0,024}{0,935} + \frac{1}{23,0} = 1,514 \frac{\text{м}^2\text{°C}}{\text{Вт}}.$$

Розрахунок коефіцієнта теплопередачі для неутеплених стін здійснюється

за формулою:

$$K_{ст} = \frac{1}{R_c}, \quad (2.2)$$

$$K_{ст} = \frac{1,0}{1,512} = 0,66 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{К}}.$$

Розрахунок сумарного термічного опору утепленої стіни виконуємо за формулою (2.1):

$$R_c = \frac{1}{8,7} + \frac{0,6254}{0,475} + \frac{0,026}{0,933} + \frac{0,12}{0,044} + \frac{1}{23} = 3,787 \frac{\text{м}^2\text{°С}}{\text{Вт}}.$$

Величину коефіцієнта теплопередачі для стін без утеплення визначаємо за виразом (2.2).

$$K_{ст} = \frac{1}{3,787} = 0,265 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{К}}.$$

Нормативний термічний опір зовнішніх стін, визначений згідно з [4], становить 3,30 м² К/Вт. Проведені розрахунки демонструють, що термічний опір неутеплених стін істотно нижчий за цю норму. У свою чергу, показник термічного опору утепленої стіни повністю відповідає сучасним вимогам.

2.1.2. Оцінка технічного стану огорожувальних світлопрозорих конструкцій

У процесі реконструкції були встановлені металопластикові вікна, оснащені двокамерними склопакетами з інертним газом всередині. Склопакети мають селективне (низькоемісійне) покриття. Для подальших розрахунків площу вікон за сторонами світу буде систематизовано у таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Параметри вікон, в залежності від сторони світу

Орієнтація вікон	Площа
Південний захід, м ²	50,61
Північний схід, м ²	50,42

Відповідно до джерела [5], термічний опір вікон дорівнює 0,86 м²·°C/Вт. Тому виконаємо розрахунок коефіцієнта теплопередачі для вікон за формулою (2.2):

$$K_{\text{вік}} = \frac{1}{0,867} = 1,167 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{К}}$$

За [4], нормативний термічний опір вікон має бути не менше 0,75 м²°C/Вт. Отримані дані свідчать про те, що термічний опір вікон повністю відповідає встановленим нормативним вимогам.

2.1.3. Комплексна оцінка технічного стану дверей та покрівельного покриття

Двері входу в під'їзд — дерев'яні, оснащені однокамерним склінням та ущільненням по периметру. Параметри дверей: площа 6,8 м², товщина 0,14 м. Матеріал виготовлення — дуб ($\lambda = 0,23 = 0,235 \text{ Вт/мК}$).

Розрахунок термічного опору дверей проведемо за формулою (2.1):

$$R_{\text{дв}} = \frac{1}{8,75} + \frac{0,14}{0,236} + \frac{1}{23,0} = 0,768 \frac{\text{м}^2\text{°C}}{\text{Вт}}$$

Розрахуємо коефіцієнт теплопередачі вхідних дверей за формулою (2.2):

$$K_{дв} = \frac{1}{0,768} = 1,36 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{К}}$$

Згідно з джерелом [4], термічний опір вхідних дверей має бути не менше $0,6 \text{ м}^2\text{°C/Вт}$.

Дахове перекриття складається з шарів: деревини, базальтового волокна, пористого бетону та гіпсокартону. Площа даху зафіксована на рівні $366,9 \text{ м}^2$. Характеристики усіх будівельних матеріалів дахового перекриття ми зведемо до таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Теплотехнічні характеристики матеріалів стін

№ шару	Найменування шару	Розрахункові характеристики	
		λ , Вт/мК	δ , м
1	Металочерепиця	58,0	0,01051
2	Утеплювач (базальтове волокно)	0,0431	0,21
3	Залізобетонна плита	2,044	0,252
4	Дерев'яна доска	0,295	0,152
5	Гіпсокартон	0,247	0,011

Виконаємо розрахунок термічного опору дахового перекриття за формулою (2.1):

$$R_{дах} = \frac{1}{8,72} + \frac{0,01055}{58,1} + \frac{0,24}{0,0433} + \frac{0,255}{2,043} + \frac{0,01}{0,24} + \frac{1}{12,1} = 5,57 \frac{\text{м}^2\text{°C}}{\text{Вт}}$$

Нормативний термічний опір дахового перекриття, відповідно до [4], має складати не менш ніж $4,95 \text{ м}^2\text{С/Вт}$. Результати розрахунків показують, що термічний опір даху повністю відповідає встановленому діючому стандарту.

Визначимо коефіцієнт теплопередачі для стелі за формулою (2.2):

$$K_{\text{дах}} = \frac{1}{5,54} = 0,230 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{К}}$$

2.1.4 Рекомендації з удосконалення огорожувальних конструкцій

Незважаючи на проведену реконструкцію (пункт 1.1), конструкція стін будівлі збереглася у більшій частині. Загальний стан огорожувальних конструкцій оцінюється як гарний, проте їхній термічний опір — за винятком утепленого фасаду — не відповідає сучасним вимогам. Водночас, характеристики інших огорожувальних конструкцій повністю відповідають встановленим вимогам. [4].

Рішення про утеплення стін визнано недоцільним з огляду на наступні причини: зовнішнє утеплення неможливе через наявне оздоблення фасаду, а внутрішнє утеплення має ряд недоліків, включаючи зменшення корисної площі кімнат, ризик порушення рівня вологості стін та інші.

2.2 Обчислення теплових втрат на опалення

Розрахунок теплових втрат через огорожувальні конструкції проводитимемо за формулою:

$$Q = k \cdot F \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{з}}) \cdot \eta, \quad (2.3)$$

де F – площа огороження;

k – коефіцієнт теплопередачі;

t_6 – температура розрахункова внутрішнього повітря, $t_6 = 22^\circ\text{C}$ за [3];

t_3 – температура розрахункова зовнішнього повітря, $t_3 = -22^\circ\text{C}$ за [2];

η - Коефіцієнт додаткових тепловтрат приймається з урахуванням розташування зовнішніх огорожувальних конструкцій:

- для зовнішніх стін і вікон у кутових приміщеннях — +5 %;
- для приміщень, орієнтованих на північ або схід — +10 %;
- для приміщень, зорієнтованих на захід — +5 %.

Розрахунки зведемо до таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 –Обсяги теплових витрат

Огороджувальна на конструкція	Орієнтація	Площа, м ²	Коефіцієнт теплопередачі, Вт/м ² К	η	Q, Вт
Стіна	ПДЗ	153,212	0,661	0,051	4671,3745
	ПДС	235,612	0,263	0,051	2830,02175
	ПНС	162,23	0,665	0,12	5 231,3172
	ПНЗ	-	-	-	-
Вікно	ПДЗ	49,62	1,165	0,052	2658,1630
	ПДС	47,49	1,165	0,14	2661,2360
Стеля		366,93	0,23	-	2905,8480
Двері	ПДЗ	6,82	0,164	0,056	50,26563

На рисунку 2.1 показано розподіл теплових втрат через огорожувальні конструкції.

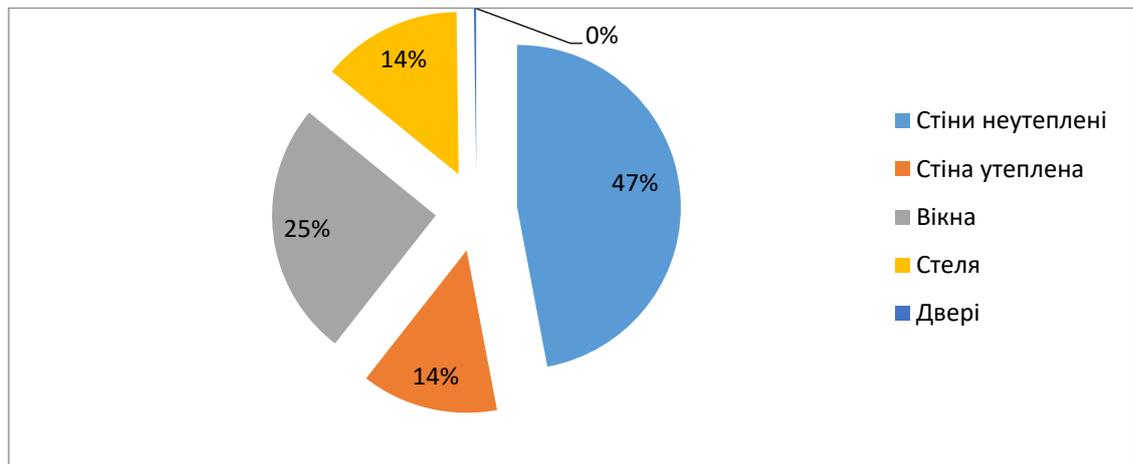


Рис.2.1 – Схема розподілу теплових втрат по огорожувальних конструкціях

Результати виконаних вище розрахунків чітко показують, що найбільші тепловтрати будівлі спричинені неутепленими стінами.

Таким чином, загальні теплові втрати через огорожувальні конструкції становлять: $Q_{\text{огр}} = 23\,958,23 \text{ Вт} \approx 23,91 \text{ кВт}$.

2.3 Визначення додаткових втрат тепла та теплових надходжень

2.3.1 Теплові втрати внаслідок інфільтрації

Інфільтраційні тепловтрати спричинені проникненням холодного повітря ззовні. Це відбувається через відкривання вікон та дверей, а також через нещільності, наявні в елементах огорожувальних конструкцій приміщення.

Витрата теплоти на підігрів зовнішнього повітря, яке проникає крізь нещільності огорожувальних конструкцій у житлові приміщення з ущільненими вікнами (балконами), розраховується згідно з методикою, що

передбачає однократний повітрообмін за годину. Результатом обчислення є значення теплових втрат, виражене в одиницях потужності – кВт. [6]:

$$Q_{\text{інф}}^{\text{сн}} = 1,234 \cdot F_{\text{п}} \cdot (t_{\text{в1}} - t_{\text{р.1о.}}) \cdot 10^{-3}, \quad (2.4)$$

де, $F_{\text{п}}$ – площа підлоги приміщення;

$t_{\text{в}}$ – розрахункова температура внутрішнього повітря, $t_{\text{в}} = 22^{\circ}\text{C}$;

$t_{\text{р.о.}}$ – розрахункова температура зовнішнього повітря, $t_{\text{р.о.}} = -0,1^{\circ}\text{C}$.

Втрати теплоти на підігрів зовнішнього повітря, що надходить у приміщення внаслідок інфільтрації, за формулою (2.4) становлять: $Q_{\text{інф}}^{\text{сн}} =$

$$1,234 \cdot 302,21 \cdot (22,0 - (-22,2)) \cdot 10^{-3} = 15,74 \text{ кВт.}$$

2.3.2 Втрати теплової енергії через трубопроводи опалювальної системи

Для обчислення тепловтрат, спричинених трубопроводами системи опалення, застосовують формулу, яка дає змогу оцінити втрати тепла з одиниці поверхні труби. Ця методологія передбачає використання таких параметрів, як площа зовнішньої поверхні труб (з урахуванням ізоляції), температурний напір та коефіцієнт теплових втрат, що залежить від матеріалу та товщини ізоляції.

$$Q_{\text{труб}} = 0,02 \cdot (Q_{\text{огор}} + Q_{\text{інф}}), \quad (2.5)$$

За формулою (2.5) отримаємо:

$$Q_{\text{труб}} = 0,02 \cdot (15,9 + 23,9) = 0,78 \text{ кВт.}$$

2.3.3 Виділення тепла мешканцями будинку

Для розрахунку додаткових теплонадходжень від мешканців будинку використовується формула, яка враховує питомих тепловиділення людини (наприклад, у Вт/люд.) та фактичну або розрахункову кількість людей, що проживають в об'єкті дослідження. Таким чином, розраховується загальна величина теплової енергії, що генерується мешканцями.

$$Q_{\text{л}} = n \cdot q_{\text{я}}, \quad (2.6)$$

де n – кількість мешканців;

$q_{\text{я}} = 1,01$ Вт. Питомий показник виділення явної теплоти однією людиною

за формулою (2.6) одержимо:

$$Q_{\text{л}} = 24 \cdot 1,01 = 24,01 \text{ Вт} = 2,45 \text{ кВт.}$$

2.3.4 Надходження тепла від сонячного випромінювання

Кількість теплоти, що надходить у приміщення від сонячної радіації через світлопрозорі огорожувальні конструкції (вікна), розраховується за формулою. При цьому враховується фактична площа скління, географічна орієнтація (сторони світу), коефіцієнт світлопропускання та середня інтенсивність сонячної інсоляції. Результат обчислення подається в кВт.

$$Q_{\text{с.в.}} = \zeta_{\text{в1}} \varepsilon_{\text{в1}} \cdot (F_{\text{пдз1}} \cdot I_{\text{пдз1}} + F_{\text{пнс}} \cdot I_{\text{пн1с}}), \quad (2.7)$$

де $\zeta_{\text{в}}$ – коефіцієнти, що враховують затінення світлового прорізу відповідно вікон непрозорими елементами заповнення, $\zeta_{\text{в}} = 0,75$ [2];

$\varepsilon_{\text{в}}$ – коефіцієнти відносного проникнення сонячної радіації відповідно для світлопропускаючих заповнень вікон $\varepsilon_{\text{в}} = 0,65$ [2];

$F_{\text{пдз}}, F_{\text{пнс}}$ – площа світлових прорізів фасадів будинку, відповідно орієнтованих за напрямом сторін світу;

Загальна площа вікон, що виходять на північний схід складає $47,38 \text{ м}^2$, на південний захід – $49,55 \text{ м}^2$.

$I_{\text{пдз}}, I_{\text{пнс}}$ – середня величина сонячної радіації за опалювальний період, що поступає на вертикальні поверхні, при дійсних умовах хмарності, відповідно орієнтовані за чотирма фасадами будинку, приймаємо для міста Києва середнє значення за опалюваний сезон: $I_{\text{пдз}} = 163 \text{ кВт} \cdot \frac{\text{год}}{\text{м}^2}$, $I_{\text{пнс}} = 93 \text{ кВт} \cdot \text{год}/\text{м}^2$.

Підставимо значення у (2.7):

$$Q_{\text{с.в.}} = 0,754 \cdot 0,652 \cdot (68 \cdot 49,554 + 28,664 \cdot 47,384) = 2328,6 \text{ Вт} = 2,389 \text{ кВт}$$

2.3.5 Теплове навантаження вентиляційної системи

Визначимо теплову потребу вентиляційної системи будівлі за формулою:

$$Q_{\text{в}} = K_{12} \cdot Q_{\text{огр}}, \quad (2.8)$$

Де $K_{12} = 0,4$ відповідно до [6] для будівель, збудованих до 2019 року. Врахувавши ці дані у формулі (2.8), отримаємо:

$$Q_{\text{в}} = 0,44 \cdot 10,55 = 4,28 \text{ кВт.}$$

2.3.6 Повне теплове навантаження на приміщення

Виконаємо розрахунок сумарного теплового навантаження на будівлю за формулою:

$$Q_{\Sigma} = Q_{\text{огр}} + Q_{\text{інф}}^{\text{сн}} + Q_{\text{труб}} + Q_{\text{в}} - Q_{\text{л}} - Q_{\text{с.в.}} \quad (2.9)$$

Врахувавши наведені значення у формулі (2.9), маємо:

$$Q_{\Sigma} = 23,954 + 15,764 + 0,7 + 4,244 - 2,42 - 2,324 = 36,8 \text{ кВт.}$$

Сумарні теплові втрати становлять 36,8 кВт.

Порівняння величин тепловтрат наведено на рисунку 2.2.

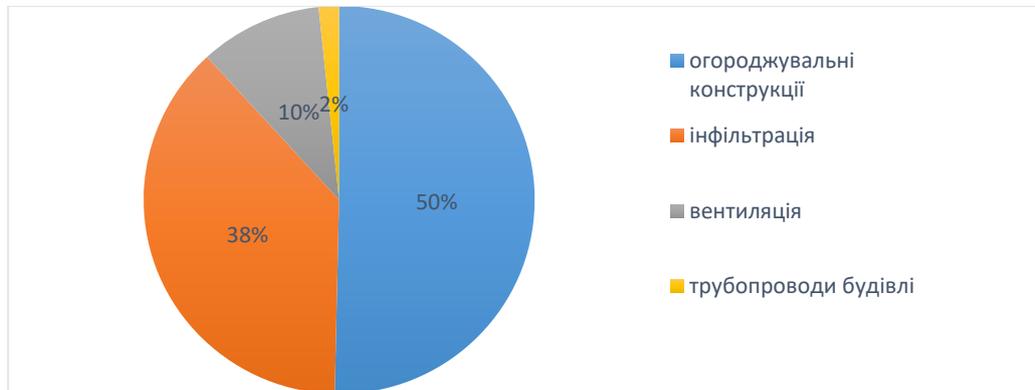


Рис. 2.2 – Основні теплові втрати будівлі

Рисунок 2.2 ілюструє, що основні теплові втрати формуються огороджувальними конструкціями (50%) та інфільтрацією (38%).

Щорічні витрати теплової енергії дорівнюють:

$$W_{\text{річ}} = 36,84 \cdot 0,010865 \cdot \frac{22+0,1}{22+22} \cdot 24 \cdot 176,01 = 67,16 \text{ Гкал/сез.}$$

Як результат, можна стверджувати, що розрахунок за цією методикою є досить точним. Це підтверджується тим, що річні тепловтрати, отримані розрахунковим шляхом, майже дорівнюють фактичним показникам, представленим у пункті 1.3.

2.4 Електричні розрахунки

2.4.1 Теплопередача через трансмісію

Розрахунок загального коефіцієнта теплопередачі трансмісією здійснюється за формулою:

$$H_{tr,adj} = H_D + H_g + H_a + H_U, \quad (2.10)$$

де $H_D - Q_{tr} = H_{tr,adj}(\theta_{int,set,H} - \theta_e)t$ безпосередній узагальнений коефіцієнт теплопередачі трансмісією до зовнішнього середовища, Вт/К;

H_g – стаціонарний узагальнений коефіцієнт теплопередачі трансмісією до ґрунту, Вт/К.

H_U – узагальнений коефіцієнт теплопередачі трансмісією через некондиціоновані об'єми, Вт/К, $H_U = 0$, адже некондиційовані об'єми відсутні;

H_A – узагальнений коефіцієнт теплопередачі трансмісією до суміжних будівель, Вт/К, $H_A = 0$, адже різниця внутрішніх температур між об'єктом дослідження та сусіднім(прилягаючим) будинком становить до 4 К.

Отже, для даного випадку формула (2.10) матиме наступний вигляд:

$$H_{tr,adj} = H_D + H_g.$$

В загальному випадку H_x розраховується за формулою:

$$H_x = b_{tr,x}[\sum_i A_i U_i + \sum_k l_k \Psi_k + \sum_j x_j], \quad (2.11)$$

Розрахуємо загальний коефіцієнт теплопередачі трансмісією $H_{tr,adj}$, та наведемо результати у таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 – Загальна величина коефіцієнта теплопередачі трансмісією

Найменування огороження	A_i, m^2	$R, m^2K / Вт$	$U, Вт/m^2K$	$b_{tr,H}$	$H_{tr,H}$
Стіни неутеплені	353,31	1,512	0,661	1,0	233,941
Стіна утеплена	269,51	3,782	0,262	1,0	71,282
Вікна	102,72	0,862	1,161	1,0	1 24,392
Дах	366,92	6,232	0,162	1,0	59, 234
Двері	11,27	0,762	1,321	1,0	14,741

Магазин, що знаходиться на цокольному поверсі, має автономну систему електричного опалення та приготування гарячої води. Протягом опалювального періоду температура всередині приміщення підтримується на високому рівні 25 °С.

Наступним кроком є необхідність розрахувати теплопередачу опалюваного цокольного поверху до ґрунту. Це дасть змогу кількісно оцінити тепловтрати через підлогове перекриття.

Розрахунок коефіцієнта теплопередачі підлоги цокольного поверху по ґрунту U_b проводимо за формулою:

$$U_{bf} = \frac{2\lambda}{3,14 \cdot B' + d_t + 0,5 \cdot z} \ln \left(\frac{3,14 \cdot B'}{d_t + 0,5z} + 1 \right), \quad (2.12)$$

де B' –розмір підлоги,

$$B' = \frac{281,494}{0,54 \cdot 68,126} = 8,268;$$

d_t –товщина підлоги,

$$d_t = 0,435 + 1,56 \cdot (0,1745 + 1,731 + 0,0431) = 4,867,$$

- λ — теплопровідність ґрунту
- z — висота стін, що контактують з ґрунтом

Перевіримо, чи підлога підвалу добре ізольована: якщо $d_t + 0,5z \geq B'$ то підлога вважається добре ізольованою.

У нашому випадку:

$$4,85 + 0,5 \cdot 0,81 < 8,264,86$$

Отже, підлога ізольована недостатньо добре.

Отже, підлога має середній рівень ізоляції, тому для подальших розрахунків використовуємо формулу (2.12).

$$U_{bf} = \frac{2 \cdot 1,54}{3,142 \cdot 8,264 + 4,845 + 0,55 \cdot 0,85} \ln \left(\frac{3,14 \cdot 8,263}{4,843 + 0,5 \cdot 0,83} + 1 \right) \\ = 0,177 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

Розрахунок коефіцієнта теплопередачі стін, які прилягають до ґрунту, проводимо за формулою:

$$U_{bw} = \frac{2\lambda}{\pi z} \left(1 + \frac{0,54 \cdot d_t}{d_t + z} \right) \ln \left(\frac{z}{d_w} + 14 \right), \quad (2.13)$$

де d_w — еквівалентна сумарна товщина стін, що контактують із ґрунтом,
 $d_w = 1,51 \cdot (0,1150 + 1,510 + 0,0531) = 2,521$

$$U_{bw} = \frac{2 \cdot 1,54}{3,14 \cdot 0,84} \left(1 + \frac{0,5 \cdot 2,52}{2,52 + 0,8} \right) \ln \left(\frac{0,85}{2,527} + 1 \right) = 0,467 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

Розрахунок узагальненого коефіцієнта теплопередачі трансмісією до ґрунту проводимо за формулою:

$$H_g = A \cdot U_{bf} + z \cdot P \cdot U_{bw} + P \cdot \Psi_g. \quad (2.14)$$

Отже, за 2.14:

$$H_g = 281,4 \cdot 0,17 + 0,8 \cdot 68,12 \cdot 0,46 = 72,9 \text{ Вт}/\text{К}.$$

з формули (2.11), маємо:

$$H_{tr,adj} = 233,94 + 71,28 + 1 \cdot 24,39 + 59,23 + 14,74 + 72,9 = 571,43 \text{ Вт}/\text{К}.$$

Визначимо Q_t за формулою для сумарної теплопередачі трансмісією:

$$|Q_{tr} = H_{tr,adj} \cdot (\theta_{int,set,H} - \theta_e) \cdot t, \quad (2.15)$$

де $\theta_{int,set,H}$ — задана температура зони будівлі для опалення, $\theta_{int,set,H} = 22 \text{ }^\circ\text{C}$;

$\theta_{int,set,C}$ — задана температура зони будівлі для охолодження, $\theta_{int,set,H} = 26 \text{ }^\circ\text{C}$;

θ_e — середньомісячна температура зовнішнього середовища, $^\circ\text{C}$;

t — тривалість місяцю для якого проводяться розрахунки, год.

Розрахунки здійснюються для всіх місяців сезону опалення.

Дані зведені у таблицю 2.5.

$$Q_{tr} = 678,63 \cdot (22 - (-4,70)) \cdot 744,0 = 13481,254 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

Таблиця 2.5 – Розрахунок втрат тепла

Місяць	$\theta_e, ^\circ\text{C}$	t, дні	$H_{tr,adj}$, Вт/К	Q_{tr} опал., кВт·год	$Q_{C,охол}$, кВт·год
1	-4,70	744,0	571,430	11351,341	13051,921
2	-3,60	672,0		9830,421	11366,432
3	1,,01	744,1		8928,022	10628,602
4	9,,01	723,1		5348,581	6994,302
5	15,20	744,01		2890,9882	4591,552
6	23,3,01	723,01		1522,291	3168,012
7	24,80	744,2		935,322	2635,891
8	240	744,04		1275,431	2976,012
9	13,90	723,04		3332,582	4978,301
10	8,11	744		5909,5012	7610,08112
11	1,90	723		8269,732	9915,451
12	-2,501	744,0		10416,032	12416,61

Таким чином, трансмісійні тепловтрати дорівнюють $Q_{\Sigma} = 16,0142,356$ кВт·год.

2.4.2 Втрати тепла через вентиляцію

Розрахунок сумарної теплопередачі вентиляцією Q_{ve} для кожного місяця та z-ої зони проводимо за формулою:

$$Q_{ve} = H_{ve,adj} \cdot (\theta_{int,set,H,z} - \theta_e) \cdot t, \quad (2.16)$$

де $H_{ve,adj}$ – загальний коефіцієнт теплопередачі вентиляцією Вт/К;

$\theta_{int,set,H}$ – задана температура зони будівлі для опалення, °С;

θ_e – середньомісячна температура зовнішнього середовища, °С;

t – $-Q_{tr} = H_{tr,adj}(\theta_{int,set,H} - \theta_e)t$ тривалість місяця для якого проводиться

розрахунок, год.

Значення загального коефіцієнта теплопередачі вентиляцією H_{ve} , обчислюємо за формулою:

$$H_{ve,adj} = \rho_a \cdot c_a \cdot \left(\sum_k b_{ve,k} \cdot q_{ve,k,mm} \right), \quad (2.17)$$

- $b_{ve,k}$ — теплоємність повітря на одиницю об'єму, дорівнює 0,33 Вт·год/(м³·К);
- k — позначає кожен із відповідних елементів повітряного потоку, таких як інфільтрація, природна вентиляція, механічна вентиляція тощо.

середня за часом витрата повітря від k -го елемента, м³/год, визначається згідно з пунктом;

$$q_{ve,inf} = n_{inf} \cdot V, \quad (2.23)$$

Розрахунок проводимо для січня за формулами (2.17–2.23), для інших місяців — аналогічно.

Результати зводимо у таблицю 2.6.

$$H_{ve,adj} = 0,330 \cdot 0,62 \cdot 3025,0221 \cdot 0,71 = 419,4 \text{ Вт/К},$$

$$Q_{ve} = 699,07 \cdot (22,04 - (-4,712)) \cdot 419,4129 \cdot 10^{-3} = 8331,358 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

Таблиця 2.6 – Теплопередача через природний повітряобмін

Місяць	$\theta_e, ^\circ\text{C}$	t, дні	$\theta_{int,set,H,z}$	$H_{ve,adj},$ Вт/К	$Q_{ve}, \text{кВт}\cdot\text{год}$
1	-4,8	744,044	22,05	424,45	8331,3017
2	-3,7	672,05	22,05		7245,0217
3	1,1	744,06	22,02		6552,727
4	9,2	723,0	22,0552		3925,58017
5	15,34	744,0	22,05		2424,8324
6	23,5	723,5	22,02		1117,282
7	24,9	744,054	22,02		686,474
8	24,3	744,07	22,04		936,1044
9	13,8	723,06	22,02		2445,946
10	8,11	744,04	22,01		4337,273
11	1,92	723,05	22,02		6069,5847
12	-2,52	744,04	22,02		7644,828

Вентиляційні тепловтрати становлять $Q_{ve\Sigma} = 51384,894 \text{ кВт}\cdot\text{год}$.

2.4.3 Повні втрати теплової енергії

Загальні втрати тепла дорівнюють сумі трансмісійних і вентиляційних тепловтрат.

$$Q_{ht} = Q_{tr} + Q_{ve}, \quad (2.24)$$

$$Q_{ht} = 83150 + 85660 = 168980 \text{ кВт}\cdot\text{год}.$$

Загальні тепловтрати по місяцях відобразимо в таблиці 2.7.

Таблиця 2.7 – Загальна втрата теплової енергії

Міс.	$Q_{tr\text{ опал,}}$ кВт·год	$Q_{tr\text{ охол,}}$ кВт·год
1	24682,641	22631,37
2	17045,452	24708,85
3	15480,74	23429,43
4	9274,18	12427,72
5	5012,89	7961,55
6	2639,52	5493,12
7	1624,73	4570,52
8	2241,55	5160,25
9	5778,55	8632,2
10	10246,78	13 245,5
11	14339,27	17 242,9
12	23060,89	24,019,6
$Q_{tr\Sigma}$	124394,13	156112,85

2.4.4 Розрахунок теплоступлень від внутрішніх джерел

Будь-яка теплота, що виробляється внутрішніми джерелами у кондиціонованому об'ємі будівлі, вважається внутрішніми теплонадходженнями. Єдиний виняток — теплота, яка застосовується для цілей опалення, охолодження чи гарячого водопостачання.

Додаткові теплонадходження у приміщеннях об'єкта дослідження будуть складатися з наступних внутрішніх джерел:

- Теплова енергія, що виділяється людьми (метаболічна теплота).
- Теплота, що розсіюється побутовою технікою та приладами освітлення під час їхньої роботи.

Розрахунок теплонадходження від внутрішніх теплових джерел Q_i у зоні будівлі для визначеного місяця проводиться за формулою:

$$Q_{\text{int}} = \left(\sum_k \Phi_{\text{int,mn},k} \cdot A_f \right) \cdot t, \quad (2.23)$$

де $\Phi_{\text{int,mn},k}$ – усереднений за часом тепловий потік від k -го внутрішнього джерела, Вт/м²;

A_f – кондиціонована площа зони будівлі, м²;

t – тривалість періоду використання, виражена у годинах на місяць.

Проведемо розрахунок середнього за часом теплового потоку й теплонадходження від внутрішніх джерел згідно формули (2.23):

$$\Phi_{\text{int,mn},k} = \frac{112}{168,01} \cdot (1,84 + 2,0 + 2,04) = 3,877 \text{ Вт/м}^2,$$

$$Q_{\text{int}} = (3,875 \cdot 302,75) \cdot 744 = 871,568 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

Результати заносимо до таблиці 2.8.

Таблиця 2.8 – Теплова енергія, що надходить від внутрішніх джерел

Місяць	θ_e	t	Φ_{int}	Q_{int}
1	-4,7	744	3,87	871,56
2	-3,6	672		787,21
3	1	744		871,56
4	9	720		843,44
5	15,2	744		871,56
6	18,3	720		843,44
7	19,8	744		871,56
8	19	744		871,56
9	13,9	720		843,44
10	8,1	744		871,56
11	1,9	720		843,44
12	-2,5	744		871,56

Підсумовуючи отримані дані, теплонадходження від внутрішніх джерел становлять:

$$Q_{ht\Sigma} = 10263,0222 \text{ кВт}\cdot\text{год.}$$

2.4.5 Розрахунок теплових надходжень від сонця

Теплові надходження від сонця забезпечуються сонячною радіацією, режим якої є типовим для конкретної місцевості. Він залежить від: орієнтації поверхонь, які сприймають радіацію; ступеня їхнього постійного чи рухомого затінення; показників пропускання та поглинання сонячної енергії; а також характеристик теплопередачі цих поверхонь. Сукупність характеристик і площі сприймаючих поверхонь (з урахуванням затінення) відома як еквівалентна площа інсоляції. [8].

Розрахунок сонячних теплонадходжень Q_s для кожного місяця проводиться за формулою:

$$Q_{sol} = \left(\sum_k \Phi_{sol,mn,k} \right) \cdot t, \quad (2.24)$$

де $\Phi_{sol,mn,k}$ – Усереднений тепловий потік сонячного джерела k , Вт

t – Часова тривалість місяця, виражена в годинах.

Сонячна тепла енергія, що надходить через конструктивні елементи будівлі визначають за формулою:

$$|\Phi_{sol,k} = F_{sh,ob,k} \cdot A_{sol,k} \cdot I_{sol,k} - F_{r,k} \cdot \Phi_{r,k}|, \quad (2.25)$$

де $F_{sh,ob,k}$ – понижувальний коефіцієнт затінення перешкодами для еквівалентної площі інсоляції k -ої поверхні;

$A_{sol,k}$ – еквівалентна площа інсоляції k -ої поверхні з даною орієнтацією та кутом нахилу у визначеній зоні чи об'ємі, m^2 , визначена згідно з пунктами 2.4.5.3 (скління), 2.4.5.4 (непрозорі елементи);

$I_{sol,k}$ – сонячна радіація, значення енергетичної освітленості сприймаючої площі k -ої поверхні з даною орієнтацією та кутом нахилу за середніх умов хмарності $Вт/м^2$;

$F_{r,k}$ – коефіцієнт форми між елементом будівлі та небосхилом, який приймають: $F_r = 1$ – для незатіненого горизонтального даху, $F_r = 0,5$ – для незатіненої вертикальної стіни;

$\Phi_{r,k}$ – додатковий тепловий потік внаслідок теплового випромінювання в атмосферу від k -го елемента будівлі.

Для південно-західної орієнтації обчислимо еквівалентну площу інсоляції за (2.23), а для решти сторін результати приведемо у таблиці

$$A_{sol}^{ПДЗ} = 1 \cdot 0,91 \cdot 0,671 \cdot (1 - 0,3) \cdot 55,24 = 23,298 \text{ м}^2;$$

$$A_{sol}^{ПНС} = 1 \cdot 0,9 \cdot 0,676 \cdot (1 - 0,37) \cdot 47,389 = 24,998 \text{ м}^2.$$

Площа непрозорих конструкцій, перерахована за рівнем сонячної інсоляції.

Еквівалентну за інсоляцією площу непрозорих конструкцій зовнішньої оболонки будівлі. A_{sol} , m^2 ,

розраховують за формулою:

$$A_{sol} = \alpha_{S,c} \cdot R_{se} \cdot U_c \cdot A_c, \quad (2.25)$$

де

$\alpha_{S,c}$ – безрозмірний коефіцієнт поглинання сонячного випромінювання непрозорою частиною огороження; за табличними даними для штукатурки

приймають $\alpha S_c = 0,4$;

R_{se} – зовнішній тепловий поверхневий опір непрозорої частини, $m^2 \cdot K/Wt$, який становить $0,043 m^2 \cdot K/Wt$;

U_c – коефіцієнт теплопередачі непрозорої ділянки, $Wt/(m^2 \cdot K)$;

A_c – площа проекції непрозорої частини, m^2 .

Розраховані значення еквівалентної площі інсоляції непрозорих конструкцій будівлі буде зведено до таблиці 2.9.

Таблиця 2.9 – Еквівалентна площа інсоляції непрозорій елементів

Стіни			
ПДЗ	ПДС	ПНС	ПНЗ
2,16887	3,56	1,8454	-
Двері			
0,23152			
Дах			
1,64072			

Теплове випромінювання в атмосферу

Для визначення додаткового теплового потоку (q Вт), що виникає через теплове випромінювання в атмосферу конкретним елементом оболонки будівлі, використовують формулу. Цей розрахунок залежить від розміру елемента, його коефіцієнта чорноти (емісії) та впливу температури неба, що є ключовим фактором.

$$\Phi_r = R_{se} \cdot U_c \cdot A_c \cdot h_r \cdot \Delta\theta_{er}, \quad (2.26)$$

Орієнтовне визначення коефіцієнта теплопередачі шляхом випромінювання для зовнішньої поверхні, $Wt/(m^2 \cdot K)$, здійснюється за такою формулою:

$$h_r = 4 \cdot \varepsilon \cdot \sigma \cdot (\theta_{\infty} + 273)^3, \quad (2.27)$$

Де:

ε – коефіцієнт поглинання теплового випромінювання зовнішньою поверхнею огороження, значення якого визначають за довідковими таблицями залежно від типу матеріалу.

Коефіцієнт випромінювання для зовнішньої поверхні враховує:
 σ – сталу Стефана–Больцмана, $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8}$ Вт/(м²·К⁴);
 θ_{∞} – середньоарифметичну температуру зовнішньої поверхні та навколишнього повітря, °С.

У спрощеному підході коефіцієнт приймають рівним **5ε Вт/(м²·К)**, що відповідає середній температурі близько **10 °С**.

Підставимо значення у (2.26):

$$\Phi_{г,ст} = 0,044 \cdot 0,667 \cdot 622,78 \cdot 5 \cdot 0,934 \cdot 11 = 904,98 \text{ Вт};$$

$$\Phi_{г,дв} = 0,044 \cdot 1,32 \cdot 6,28 \cdot 5 \cdot 0,84 \cdot 11 = 15,74 \text{ Вт};$$

$$\Phi_{г,дах} = 0,044 \cdot 0,16 \cdot 366,98 \cdot 5 \cdot 0,94 \cdot 11 = 126,58 \text{ Вт}.$$

Сонячні теплонадходження через елементи будівлі

Таблиця 2.10 - Сонячна інсоляція для Хмельницької області

Місяць	Сонячна інсоляція (кВт·год/м ² /день)	Інсоляція за місяць (приблизно)
Січень	1,084	~35 кВт·год/м ²
Лютий	1,83	~53 кВт·год/м ²
Березень	2,84	~88 кВт·год/м ²
Квітень	3,86	~117 кВт·год/м ²

Травень	5,05	~158 кВт·год/м ²
Червень	5,22	~152 кВт·год/м ²
Липень	5,03	~152кВт·год/м ²
Серпень	4,59	~147 кВт·год/м ²
Вересень	3,15	~96 кВт·год/м ²
Жовтень	1,97	~62 кВт·год/м ²
Листопад	1,12	~32 кВт·год/м ²
Грудень	0,86	~28 кВт·год/м ²
Середньорічна	3,06 кВт·год/м ² /день (—

Проведемо розрахунок сонячних теплонадходжень, що припадають на різні елементи будівлі. Результати цього розрахунку будуть систематизовані у таблиці 2.11 і таблиці 2.12.

Таблиця 2.11 - Теплова енергія сонячного випромінювання, що потрапляє на стіни та вікна.

місяць	Φsol,k, Вт				
	Стіни			Вікна	
	ПНС	ПДС	ПДЗ	ПДЗ	ПНС
1	-540,181	-449,74	-479,32	931,47	279,74
2	-5 24,951	-391,62	-435,92	1397,54	499,54
3	-490,471	-327,54	-390,23	2386,45	8 24,64
4	-468,332	-284,62	-375,13	2349,64	1059,54
5	-423,52	-229,464	-	2492,047	1579,34
6	-403,932	-229,492	-	2468,746	1759,141
7	-413,152	-232,54 4	-	2468,744	1659,24

8	-446,34	-238,64	336,043	2468,45	1299,44
9	490,0,4527	-287,51	368,548	24 24,44	8 24,64
10	-525,478	-376,213	433,643	1423,648	439,49
11	-543,890	-474,118	496,543	745,443	239,49
12	-549,355	-483,315	505,243	652,43	179,43

2.4.6 Загальні надходження теплової енергії

Визначення загальних теплонадходжень проводиться за формулою, яка об'єднує додаткові та сонячні компоненти в одну суму.

$$Q_{\Sigma} = Q_{int} + Q_{sol},$$

$$Q_{\Sigma} = 871,56 - 283,22 = 588,34 \text{ кВт} \cdot \text{год} \quad (2.29)$$

Розрахунки наведено в таблиці 2.12

Таблиця 2.12 - Загальні надходження теплової енергії

місяць	Q _{int} , кВт·год	Q _{sol} , кВт·год	Q _Σ , кВт·год
1	871,528	-283,234	588,3444
2	787,247	309,041	1096,2341
3	871,528	1076,0846	2447,6546
4	843,419	1402,249	2245,7445
5	871,5	2305,0542	3176,6413
6	843,4	2358,2841	3231,7424
7	871,5	2350,35	3224,9144
8	871,54	2342,451	2914,0418
9	843,42	1261,972	2405,4144
10	871,53	322,771	1 244,3246

11	843,44	-477,891	365,5481
12	871,57	-630,554	241,0416

2.4.7 Аналіз динамічних показників

Динамічний метод буде використано для моделювання основних факторів, що впливають на тепловий режим будівлі: теплових опорів, теплоємностей, а також теплонадходжень від сонця та внутрішніх теплових джерел у її зоні.

Коефіцієнт використання надходжень для опалення є безрозмірним. Він є функцією двох ключових показників: співвідношення надходжень і втрат теплоти та числового параметра який безпосередньо залежить від теплової інерції будівлі.

Таблиця 2.13 - Коефіцієнти використання

місяць	γ_n	γ_c	η_n	η_c
1	0,021449	0,0 2369	0,98995451	0,0 2140
2	0,04625	0,04,010	0,9897952371	0,03940
3	0,08116048	0,0760	0,98921610	0,07560
4	0,174416	0,133	0,9874824	0,1310
5	0,0,452578	0,2869	0,875550	0,269710
6	0,87242	0,4 24246	0,710170	0,37410
7	1,42887	0,507	0,54340	0,433560
8	0,984770	0,4061	0, 428	0,363520
9	0,26235	0,174540	0,9848738	0,17401104
10	0,0811383	0,0650	0,9893509,01	0,0648
11	0,0 2333	0,01530	0,98999959	0,01591
12	0,,0195	0,,01810	0,9899764	0,018232

2.4.8 Визначення енерговитрат, необхідних для опалення й охолодження приміщень.

Розрахуємо теплові (енергетичні) втрати на опалення за такою формулою:

$$Q_{H,nd} = Q_{H,nt} - \eta_{H,gn} \cdot Q_{H,gn}. \quad (2.34)$$

Розрахуємо енергетичні втрати:

$$Q_{C,nd} = Q_{C,пр} - \eta_{C,ls} \cdot Q_{C,ht}. \quad (2.35)$$

Результати відображено в таблиці 2.14.

Таблиця 2.14 - Енергетичні витрати на опалення та охолодження

місяць	$Q_{H,nd}, \text{кВт} \cdot \text{год}$	$Q_{C,nd}, \text{кВт} \cdot \text{год}$
1	24098,838	0
2	15957,497	0
3	13559,028	0
4	7130,6548	0
5	0	0
6	0	566,78357
7	0	722,14437
8	0	494,33748
9	0	0
10	9069,88	0
11	13974,9988	0
12	178 26,87	0
Σ	96699,668	1789,398

2.5 Аналіз системи електропостачання

2.5.1 Оцінка силового навантаження на основі методики

Враховуючи, що електрична схема будівлі (див. пункт 1.1) та детальні дані про електроспоживання, обладнання і схему живлення відсутні, ми змушені визначити силове навантаження будинку розрахунковим шляхом із застосуванням відповідного методу. [17].

Житловий 4-поверховий (8-квартирний) будинок є об'єктом дослідження. Оскільки він обладнаний електроплитами та електроводонагрівачами для гарячого водопостачання і опалення, то, відповідно до методики, його віднесено до 3 категорії надійності електропостачання.

Приймачі 3 категорії надійності електропостачання можуть житися від єдиного джерела живлення, як це передбачено методикою. При цьому критично важливо, щоб час перерви в електропостачанні, необхідний для усунення пошкодження чи заміни елемента, не перевищував однієї доби.

Досліджувані квартири класифікуються як житло з високим рівнем комфортності та мають площу від 50 до 3,01 м². На підставі цієї класифікації, встановлена потужність електроприймачів для даних квартир становить 45 – 60 кВт.

Для даного типу житла встановлено два рівні електрифікації та відповідні їм нормативні розрахункові питомі навантаження:

- I: Для жител (квартир), де використовуються плити на природному газі.
- II: Для жител (квартир), які мають електричні плити потужністю до 10,5 кВт включно.

Саме тому, об'єкт дослідження класифікується як житла (квартири) з електричними плитами, потужність яких не перевищує 10,5 кВт.

У зв'язку з відсутністю фактичних даних, необхідних для прямого розрахунку, ми використовуємо довідкові дані з таблиць. Згідно з ними, нормативні питомі витрати електричних розрахункових навантажень приймаються на рівні 7,05 кВт/житло.

Виходячи з припущення про однакове питома електричне навантаження для всіх жител та живлення всієї будівлі від одного вводу, всі квартири доцільно об'єднати в одну групу. Сумарне навантаження жител обчислюється за відповідною формулою, що інтегрує навантаження всіх споживачів:

$$P_{ж\mathcal{L}} = P_{ж\text{ кв}} \cdot N, \quad (2.37)$$

де:

$R_{ж\text{ кв}}$ — питоме розрахункове електричне навантаження однієї квартири, яке вибирається за таблицею залежно від прийнятого рівня електрифікації та кількості квартир, підключених до даної ділянки електромережі, кВт/квартира;

N — кількість квартир, підключених до вводу, лінії або трансформаторної підстанції.

Після підстановки даних у формулу (2.37) маємо:

$$P_{ж\text{ }\Sigma} = 7,054 \cdot 8 = 56,47 \text{ кВт.}$$

До складу питомих розрахункових електричних навантажень жител входять навантаження, призначені для освітлення загальнобудинкових приміщень.

Враховуючи, що розрахункове навантаження на вводі будівлі перевищує порогове значення 11 кВт, прийнято рішення, що ввід повинен бути виконаний трифазним.

Для визначення розрахункового навантаження силових електроприймачів ($\mathbf{P}_{\text{сил}}$) на вводі, лінії або шинах 0,4 кВ ТП, використовується формула, де загальна номінальна потужність усього силового обладнання коригується за допомогою коефіцієнта навантаження (або коефіцієнта одночасності):

$$P_{\text{сил}} = \sum_1^n P_{\text{л}} \cdot K_{\text{поп л}} + \sum_1^n P_{\text{сан сан}}, \quad (2.38)$$

де $P_{\text{л}}$ — номінальна потужність електродвигуна кожного ліфта відповідно до його технічних параметрів, кВт;

$K_{\text{поп л}}$ — коефіцієнт попиту для ліфтових електродвигунів, що визначається кількістю ліфтів та поверховістю будівлі;

$P_{сан п}$ – паспортна встановлена потужність електродвигуна сантехнічної установки, кВт;

$K_{поп сан}$ – коефіцієнт використання електроенергії електродвигунами сантехнічного обладнання.

Оскільки дані щодо потужності ліфтової установки відсутні, її потужність прийнята на рівні 6,5 кВт. Крім того, для однієї ліфтової установки в 4-поверховому будинку використовується коефіцієнт попиту ($K_{поп л}$) зі значенням 0,84.

Треба врахувати Магазин, що знаходиться на цокольному поверсі. В умовах відсутності даних щодо його електрообладнання та схеми живлення, розрахунок виконуватиметься на основі укрупнених питомих електричних навантажень. Сумарне навантаження Магазину обчислюється за формулою, яка використовує площу приміщення та питоми навантаження на квадратний метр, скориговане на коефіцієнт одночасності:

У зв'язку з відсутністю даних щодо кабельної лінії, що з'єднує ТП та електрощитову будинку, ми повинні підібрати її необхідні характеристики (наприклад, матеріал та переріз провідників) на основі отриманого струмового навантаження.

Враховуючи, що найближча трансформаторна підстанція розташована за 1,01 м, довжину кабельної лінії приймаємо рівною 1,01 м. Тоді для забезпечення необхідних параметрів, показник погонного активного опору дроту (r_0) має бути меншим за 0,987 Ом/км.

Таким чином, за приведеними умовами ми приблизно визначили тип кабелю, який відповідає заданим вимогам. Обрано чотирижильний кабель марки АВВГ з алюмінієвими жилами, ізольованими ПВХ. Кабель має переріз жил 50 мм², здатний витримувати допустиме струмове навантаження 137 А, і має активний опір жил 0,641 Ом/км.

2.5.2 Оцінка електричного навантаження з урахуванням встановлених електрокотлів.

У якості одного з заходів з енергозбереження пропонується встановлення електричних котлів для забезпечення повного опалення квартир. Крім того, передбачається використання індивідуальних бойлерів для постачання гарячої води.

Враховуючи площу квартир близько 115 м²та необхідну потужність котлів майже 11 кВт, підключення слід виконувати окремо виділеним кабелем безпосередньо від щитка. Необхідна напруга для таких потужних котлів становить 380 В.

Внаслідок змін, питома розрахункове електричне навантаження жител також збільшиться відповідно до методики. Для будинку воно становитиме $P_{ж\text{ кв}} = 26,9818$ кВт/житло.

Отже, підсумкове значення електричного навантаження для житлових приміщень дорівнює(2.39):

$$P_{ж\text{ }\Sigma} = 26,978 \cdot 8 = 215,768 \text{ кВт.}$$

У підсумку загальна потужність житлових приміщень зростає приблизно у чотири рази. Загальне електричне навантаження будівлі з урахуванням електроопалення визначаємо за формулою (2.40):

$$P_{\text{буд,ж}} = 215,7614 + 0,9 \cdot 6,54 \cdot 0,84 + 32,96 \cdot 0,42 = 233,85 \text{ кВт.}$$

Тоді реактивна потужність рівна (2.41):

$$Q_{\Sigma} = 215,76 \cdot 0,4 + 0,9 \cdot 6,5 \cdot 0,84 \cdot 1,17 + 32,96 \cdot 0,4 \cdot 0,2 = 94,69 \text{ квар.}$$

Розрахуємо повну потужність, використовуючи отримані значення та формулу (2.42):

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{233,84^2 + 94,69^2} = 252,24 \text{ кВ}\cdot\text{А.}$$

Обчислимо значення струмового навантаження за допомогою формули (2.43):

$$I = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = \frac{252,24}{\sqrt{3} \cdot 0,385} = 383,27 \text{ А.}$$

Отже, із зростанням струмового навантаження будівлі виникає потреба у зміні параметрів кабельної лінії.

Перевірку здійснюємо за формулою (2.44):

$$383,21 < I_{\text{доп.}} \cdot 1,032 \cdot 0,91,$$

Таким чином, показник допустимого струмового навантаження дорівнює:

$$I_{\text{дод}} > 413,02 \text{ А.}$$

Крім того, допустимі втрати напруги в лінії не повинні перевищувати встановленої максимальної величини. $\Delta U \leq \Delta U_{\text{доп.}} = 5\%$

Визначимо втрати напруги, використовуючи формулу (2.45):

$$\Delta U = \frac{10^5 \cdot r_0 \cdot P_p \cdot l}{U_n^2},$$

Таким чином, питомий активний опір дроту повинен задовольняти умові $r_0 < 3$.

Таким чином, за приведеними умовами приблизно визначено тип кабелю, що відповідає заданим вимогам. Обрано, наприклад, два чотирижильних кабелі марки АВВГ з алюмінієвими жилами. Кожен кабель має переріз жил 123 мм^2 , допустиме струмове навантаження 224 А та активний опір жил $0,253 \text{ Ом/км}$.

Підбираємо автоматичний вимикач, керуючись умовою $I_{\text{авт}} \geq I_{\text{мак}}$. Наш вибір зупинився на автоматичному вимикачі з комбінованим розчеплювачем типу АЗ730ФУЗ. Його номінальний струм 630 А з запасом покриває необхідне максимальне значення 413 А .

В результаті проведених розрахунків, схема електропостачання об'єкту відображена на рис. 2.3.

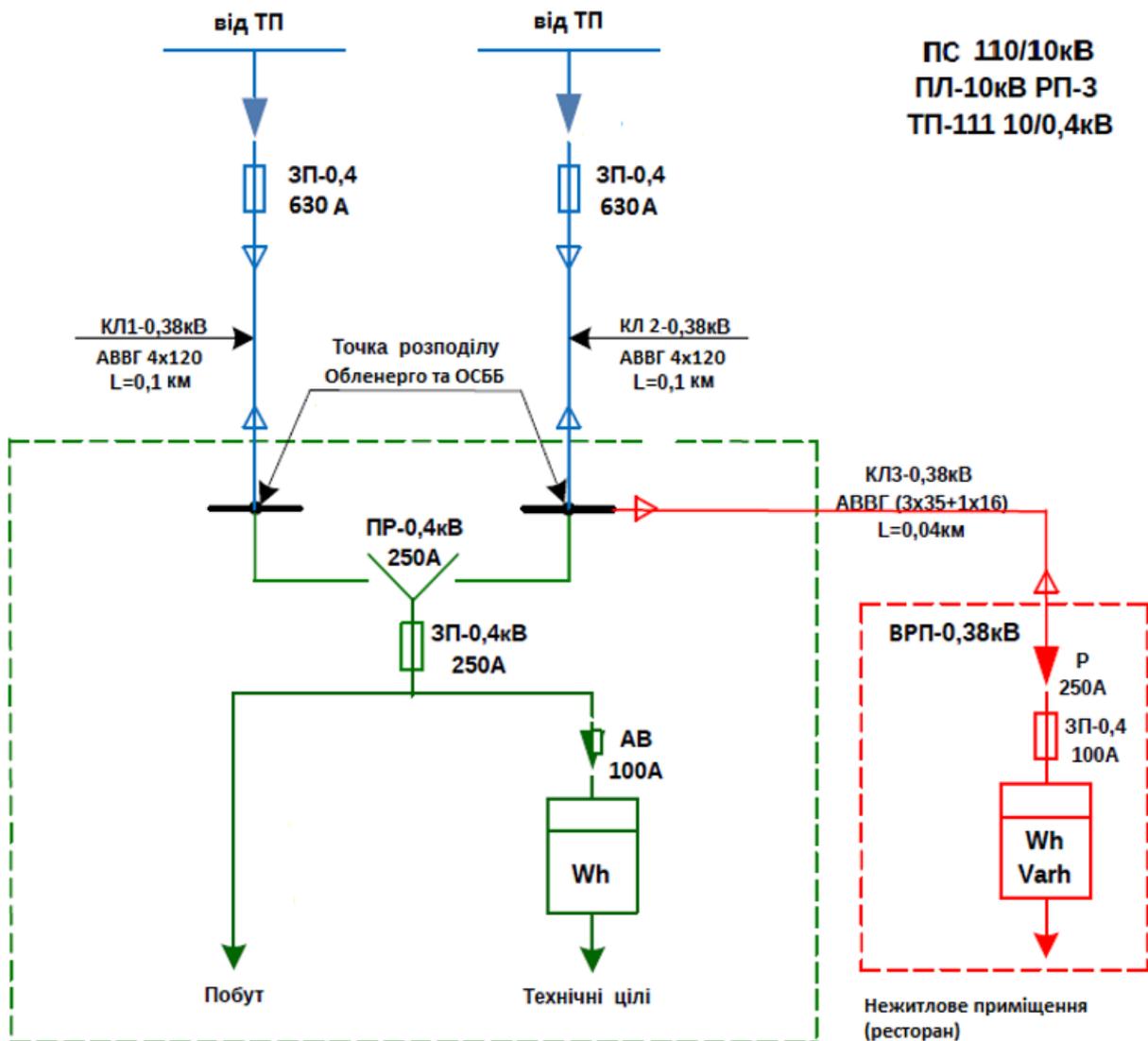


Рис. 2.3 - Електрична схема внутрішніх мереж будівлі

Припускаємо, що для підвищення надійності живлення, будівля підключена до двох незалежних трансформаторних підстанцій. Це дозволяє здійснювати відновлення живлення в аварійних випадках шляхом ручного перемикання рубильника.

2.5.3 Принципи проєктування електропостачання житлових квартир

Живлення квартирних щитків забезпечується від головного розподільчого щита через автоматичні вимикачі, а облік електроенергії здійснюється поквартирними лічильниками. Вибір вимикача корелюється з розрахунковим струмом навантаження. Електропостачання споживачів від ВРУ квартири виконується через автоматичні вимикачі, при цьому у розеточній мережі передбачено диференціальний захист (ПЗВ). Прокладання проводів у квартирах здійснюється під штукатуркою або у спеціальних коробах. Електричну схему вводу від ВРУ до приміщень продемонстровано на рисунку 2.4.

Кабель ВВГ нгд 3х4 використаємо для проводки від загальнобудинкового щита до квартирних щитків ($I_{розр}=47$ А та $r_0=1,84$ Ом/км.). Перевіримо його на відповідність навантаженню. Розрахунковий струм однієї квартири при $P_{кв}=26,97$ кВт та напрузі U дорівнює:

$$I_{кв} = \frac{P_{кв} \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos\varphi}, \quad (2.46)$$

$$I_{кв} = \frac{26,975 \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot 0,384 \cdot 0,989} = 41,87 \text{ А.}$$

Відповідно, перевірка за (2.44) показує виконання умови:

$$68,07 \geq 41,81 \cdot 1,23.$$

Розрахуємо витрати напруги за допомогою формули (2.45):

$$U = \frac{10^5 \cdot 1,847 \cdot 26,979 \cdot 0,025}{380^2} = 0,868\% > 5\%,$$

Отже кабель відповідає умові.

З огляду на те, що в квартирах використовуються електричні плити та бойлери, і додатково пропонується встановлення електричних котлів для опалення (як захід з енергозбереження), всі ці прилади мають бути належним чином враховані під час формування схеми електропостачання приміщень.

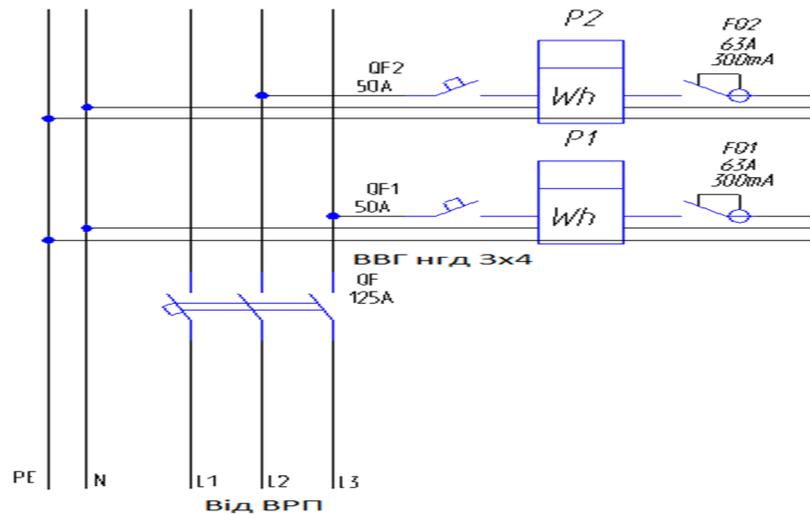


Рис 2.4 – Схема вводу від ВВП

Число розеток у квартирах приймається, виходячи з розрахункових норм: 1 розетка на повні та неповні 6 м² площі в кімнатах, і 1 розетка на 10 м² площі в коридорах. На кухнях з площею до 8 м² встановлюється 3 розетки на 16 А, а на кухнях площею понад 8 м² — 4 розетки на 16 А.

Виходячи з припущення, що потужність електроплит не перевищує 8,5 кВт, у кухнях для кожної плити передбачається встановлення розетки на 32 А із заземленими контактами.

Також будемо вважати, що потужність установлених бойлерів на рівні 3,5 кВт, отже для них також треба передбачити по розетці на на 25 А.

Враховуючи, що потужність електричних котлів складає 11 кВт, для їх безпечної та надійної роботи живлення необхідно здійснювати окремим кабелем від розподільчого щитка.

Поквартирні щитки та їхня внутрішня комутація будуть зображені на рисунку 2.5.

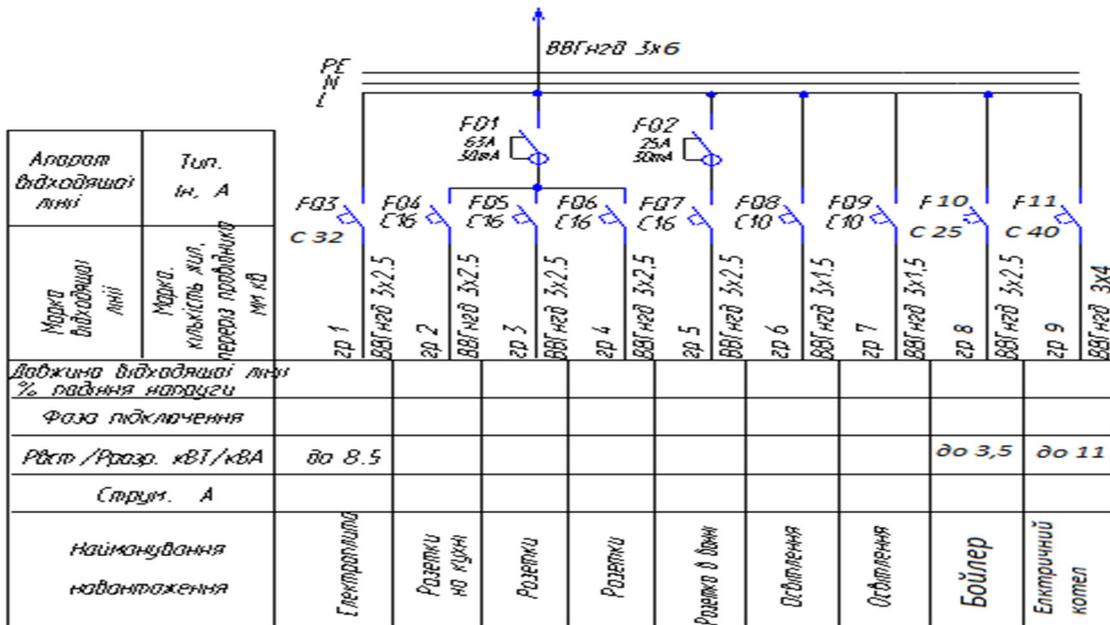


Рис. 2.5 – Електрична мережа квартир

Згідно з розрахунками, на одну квартиру слід забезпечити 23 розеток на 16 А. Також обов'язковим є проведення окремих кабелів для таких потужних споживачів, як освітлення, електроплити, бойлери та котли.

Висновки до розділу

У цьому розділі була досліджена схема електропостачання житлового будинку. Розрахунки проводились згідно з актуальним ДБН «Проектування електрообладнання об'єктів цивільного призначення» через відсутність необхідних фактичних даних (схеми живлення, обладнання). Результатом стало моделювання схеми живлення квартири, яке врахувало електричне навантаження від запропонованого енергозберігаючого обладнання, а також підбір кабелів, які відповідають необхідній струмовій стійкості.

Проведене моделювання показало: у разі застосування електричних котлів та бойлерів для ГВП, допустиме струмове навантаження на кабель, що живить будинок від трансформаторної підстанції, має становити не менше 413 А. Для задоволення цієї вимоги, за відсутності фактичних даних, було підібрано два чотирижильні кабелі марки АВВГ з перерізом жил 125 мм² та автоматичний вимикач типу АЗ730ФУЗ з комбінованим розчеплювачем, номінальний струм якого складає 630 А.

За умови, що існуючий кабель не забезпечить необхідної потужності, може бути запропоноване регулювання потужності котлів з акцентом на їхню роботу під час нічного провалу споживання. Сценарій роботи котлів: 22 °С вранці (7:,01 – 9:,01) та ввечері (17:,01 – 24:,01), 15 – 16 °С вдень (9:,01 – 17:,01). Вночі (24:,01 – 7:,01) можливе підтримання 22 °С або економний режим із зниженням температури на 2 – 4 °С. Таке вирівнювання графіка навантажень трансформатора зробить його роботу більш ефективною і, можливо, дозволить уникнути значних капітальних затрат на заміну кабелю.

РОЗДІЛ 3. РАЦІОНАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ

3.1 Визначення ключових проблемних питань

Причиною звернення мешканців будинку стало те, що кінцева сума у квитанціях за опалення в зимовий період перевищувала показання лічильників приблизно вдвічі. У відповідь на скаргу, КП «Київтеплоенерго» надало роз'яснення щодо оплати за МЗК. Нашою роботою став аналіз законодавства, що регулює визначення та оплату опалення місць загального користування.

Термін «місця загального користування» визначено у джерелі [10] як тотожний терміну «допоміжні приміщення», і через це його вживання не рекомендується.

Допоміжні приміщення багатоквартирного будинку, згідно з [11], слугують для експлуатації та побутового обслуговування мешканців. До цієї категорії входять: сходові клітини, вестибюлі, позаквартирні коридори, перехідні шлюзи, а також усі технічні зони, такі як колясочні, кладові, сміттекамери, горища, підвали, ліфтові шахти та відділення, вентиляційні та інші технічні приміщення.

Відповідно до [12], підсобні приміщення багатоквартирного житлового будинку – це зони, створені для обслуговування мешканців та підтримки експлуатації будівлі. До їхнього переліку входять: сходові клітки, вестибюлі, перехідні шлюзи, позаквартирні коридори, колясочні, комори, сміттєзбірні камери, горища, підвали, шахти та інші подібні приміщення.

Термінологія, уточнена у Додатку Б документа [12], розмежовує Приміщення технічні як складові МЗК (Місць Загального Користування), призначені для розміщення критично важливих систем — теплових вузлів, бойлерних, електрощитових, венткамер, комутаторів, радіовузлів, машинних відділень ліфтів і холодильних установок. Окрім фізичних приміщень, документ окремо виділяє Технічне оснащення багатоквартирного житлового будинку: це сукупність інженерних пристроїв і комунікацій (загальнобудинкові мережі тепло-, водо-, газо-, електропостачання, бойлерні, пожежна безпека,

вентиляційні та димовидальні канали, ліфти, центральні розподільні щити, елеваторні вузли) та елементів благоустрою, необхідних для забезпечення безпеки та нормальних санітарно-гігієнічних умов експлуатації житлового фонду.

Документ [13] оперує наступними визначеннями: місця загального користування — це ті місця, які забезпечують експлуатацію будинку та побутове обслуговування його мешканців, за винятком допоміжних приміщень. Для коректного обліку теплової енергії розмежовано: обсяг теплової енергії на забезпечення функціонування внутрішньобудинкової системи гарячого водопостачання (за наявності циркуляції), який являє собою втрати тепла у трубопроводах та обладнанні системи ГВП, включно з індивідуальним тепловим пунктом; та обсяг теплової енергії на забезпечення функціонування внутрішньобудинкової системи опалення, що включає як втрати теплової енергії у трубопроводах та обладнанні системи опалення поза межами всіх опалюваних приміщень, МЗК та допоміжних приміщень, так і теплову енергію, що надходить від транзитних ділянок до приміщень з індивідуальним опаленням або тих, що не отримують комунальної послуги з постачання тепла.

Власники квартир, згідно з документом [14], визнаються співвласниками як допоміжних приміщень, так і технічного обладнання свого багатоквартирного будинку. З цієї причини на них покладається зобов'язання брати участь у покритті загальних витрат, спрямованих на утримання будинку та прибудинкової території, при цьому сума їхньої фінансової участі повинна відповідати їхній частці у спільному майні цього будинку.

Отже, співвласники житлового будинку повинні брати участь у витратах на його утримання відповідно до своєї частки у будинку, яка корелюється з займаною площею житла, а відключення від централізованого опалення не звільняє їх від зобов'язання такої участі у загальних витратах.

Висновки свідчать про те, що право власності мешканців поширюється на МЗК, допоміжні приміщення та все технічне оснащення будинку. Відповідно, фінансова відповідальність за утримання будинку та прибудинкової території є

безумовною для всіх співвласників і розраховується пропорційно їхній житловій площі. Ключовим моментом є те, що навіть відключення від централізованого опалення не є підставою для уникнення цих витрат. Крім того, до загальних витрат на теплопостачання належать обсяги втраченої теплової енергії в загальнобудинкових мережах, які розподіляються між усіма споживачами.

Тепер постає низка запитань:

Відповідальність за технічний та тепловий стан теплову пункту та трубопроводів у приміщенні, переданому в оренду, визначається передусім Актом розмежування балансової належності та експлуатаційної відповідальності між споживачами (Вашим будинком, іншими будинками) та теплопостачальною організацією. Якщо теплову пункт обслуговує кілька будинків і трубопроводи є транзитними, то за технічний стан самих мереж зазвичай відповідає власник цих мереж, тобто теплопостачальна організація, оскільки це не є майном Вашого будинку. Водночас, якщо теплову пункт є спільною частковою власністю кількох будинків-споживачів, то їхні управителі або ОСББ несуть експлуатаційну відповідальність, забезпечуючи обслуговування за рахунок спільних внесків. Орендар цього приміщення не відповідає за технічний стан обладнання, але зобов'язаний забезпечити його збереження та безперешкодний доступ для обслуговування відповідно до умов договору оренди.

У ситуації, коли приміщення, в яких розташовані транзитні трубопроводи, включаючи паркінг, перестали опалюватися, що спричинило падіння температури з $15-23^{\circ}\text{C}$ до $0-10^{\circ}\text{C}$, втрати тепла з транспортуючих трубопроводів зросли втричі. Згідно з моєю логікою, ці зростаючі теплові комунікації фактично обігривають приміщення, коридори та паркінг сусіднього будинку, і витрати на цей ненавмисний підігрів повинні нести сусіди-споживачі. При цьому, я вважаю, що орендодавець зобов'язаний компенсувати ці додаткові втрати, оскільки вони виникають саме через використання його приміщення (де проходять комунікації води та відбувається паркування машин) як транзитного, і його рішення не опалювати паркінг напряду вплинуло на збільшення цих втрат.

Служба обслуговування має відповідати за технічний стан будинкових теплових мереж і зобов'язана виконувати роботи зі зниження теплових втрат. Проблема в тому, що 9 мм ізоляційного покриття ($\lambda = 0,035 \text{ В / мсК}$, як це вимагав [16]) було прийнятним, коли приміщення та паркінг опалювалися до 15-23⁰С. Після того, як підігрів паркінгу було відключено, а температура впала до 0-10⁰С, ця ізоляція вже не забезпечує нормативного рівня втрат для неопалювальних приміщень. Обслуговуюча компанія повинна терміново провести роботи по збільшенню товщини теплової ізоляції до мінімально необхідних 30-60 мм (рівень діаметру трубопроводу). Більш того, оскільки на трубах використаний етилен-пропіленовий каучук з високою теплопровідністю ($\lambda = 0,04-0,06 \text{ Вт/К}$), товщину ізоляції необхідно довести до півторакратного розміру від нормативної, щоб дійсно відповідати рівню нормативних втрат.

Термін «місця загального користування» не є коректним для визначення зазначених площ, оскільки він не відповідає принципу «загального користування». Натомість, назва «місця технічного обслуговування будинку» краще відображає їхню справжню функцію. Це зумовлено тим, що мешканці не мають вільного доступу до таких об'єктів, як мережі тепло-, водо-, газо-, електропостачання, бойлерна, обладнання пожежної безпеки, вентиляційні та димовидальні канали, ліфтові пристрої, центральні розподільні щити, елеваторні вузли, горища, підвали, шахти та елементи благоустрою території. Для відвідування цих місць необхідне обов'язкове спеціальне погодження з експлуатуючою організацією та відповідним постачальником комунальних послуг.

Через те, що чіткий перелік місць, які повинні належати до МЗК, відсутній, створюються умови для подвійної інтерпретації, особливо коли йдеться про об'єкти, що мають комерційний зиск. Це дозволяє утримувати цю інформацію в тіні, уникаючи чіткого визначення майна, замінюючи його розмитими термінами, як-от «тощо» або «та інші».

Розмір плати, яку споживачі вносять за опалення Місць Загального Користування (МЗК) у багатоквартирних будинках, встановлюється на підставі Порядку визначення витрат теплової енергії на опалення МЗК. Цей порядок інтегрований у Методику розподілу між споживачами обсягів спожитих у будівлі комунальних послуг. Саме цей ключовий документ містить правила розрахунку частки загальнобудинкового тепла, що припадає на опалення спільних приміщень, і визначає механізм подальшого розподілу цієї суми між усіма співвласниками будинку. [15].

Приклад розрахунку усереднених даних річного споживання теплової енергії на опалення МЗК для будинків, зведених за типовими для всіх областей України проектами масових серій до 2495 року, за умов додержання закладених у проекті архітектурно-конструктивних та інженерних рішень. Розрахункові параметри зовнішнього повітря приймалися згідно із [16] та [17], [19]. Температура внутрішнього повітря визначалась згідно із нормативними документами, які встановлюють мінімально допустиму температуру повітря в Місцях Загального Користування (наприклад, $+16^{\circ}\text{C}$ для сходових кліток). [23].

Згідно з цим порядком, передбачено, що до сплати за Місця Загального Користування (МЗК) та втрати в розподільчих трубопроводах від загального споживання будинку відноситься 7,3% теплової енергії. Ця плата за МЗК надалі розподіляється між усіма власниками квартир та власниками офісного приміщення пропорційно до площі їхнього помешкання. Слід відзначити, що цей розрахунок охоплює як нормативне розрахункове теплоспоживання, так і випадок, коли в квартирах встановлені індивідуальні теплові лічильники, а на будинку стоїть загальний теплотічильник.

За матеріалами [24], у розділі III, який регулює визначення та розподіл обсягу спожитої теплової енергії на опалення МЗК та допоміжних приміщень, передбачено, що обсяг тепла визначається або за фактичними показаннями вузлів розподільного обліку (за умови їхнього 100% оснащення в МЗК та допоміжних приміщеннях), або як відсоток від загального обсягу споживання будинку ($Q_{\text{оп.буд}}$), якщо такі вузли відсутні. Цей відсоток зменшується зі

зростанням поверховості: від 23% для одноповерхових будівель, через 23% (двоповерхові), 16% (триповерхові), 14% (чотириповерхові) і 12% (п'ятиповерхові), до 10% для будівель шести поверхів та вище.

Співвласники будівлі мають право за своїм рішенням визначати частки споживання теплової енергії на опалення МЗК та допоміжних приміщень із застосуванням понижувального коефіцієнта в діапазоні 0,2-0,9. Цей коефіцієнт використовується, коли оцінюються теплотехнічні характеристики огороджувальних конструкцій, включаючи заповнення віконних, дверних, балконних та дверних блоків, наявність тамбурів і якість ізоляції інженерних систем. Так само, за рішенням співвласників, може бути застосований підвищувальний коефіцієнт від 1,1 до 2, що залежить від технічного стану та наявності опалювальних приладів в МЗК та допоміжних приміщеннях, а також загального стану теплотехнічних характеристик огороджувальних конструкцій. Проаналізовані приклади демонструють, що нормативні втрати на Місця Загального Користування (втрати на мережі та опалення під'їздів) для п'ятиповерхового будинку мають бути в межах 7,3% - 12% від споживання, спрямованого на опалення квартир. Це значення приблизно у 5 разів нижче, ніж фактичні втрати, які ми фіксуємо у нашому випадку. Таким чином, існує значна невідповідність між нормативним і фактичним рівнем теплових втрат.

3.2 Характеристика системи теплопостачання

3.2.1 Опис структури та роботи тепlopункту

Джерелом теплопостачання для об'єкта дослідження є тепlopункт, розташований у сусідньому будинку за адресою Златоустівська, 16. Тепловий пункт функціонує як відкрита система ЦО. Облік забезпечується ультразвуковими витратомірами та датчиками температури, які встановлені на подаючому та зворотньому трубопроводах після каліброваної шайби, а інформація з них агрегується загальним будинковим теплолічильником. На

додаток до загального обліку, кожна квартира має свій індивідуальний теплолічильник на системі ЦО та на системі ЦПГВ. Згідно зі схемою на рисунку 3.1, передбачена можливість регулювання температури теплоносія відповідно до температурного графіку та зовнішніх температурних умов.

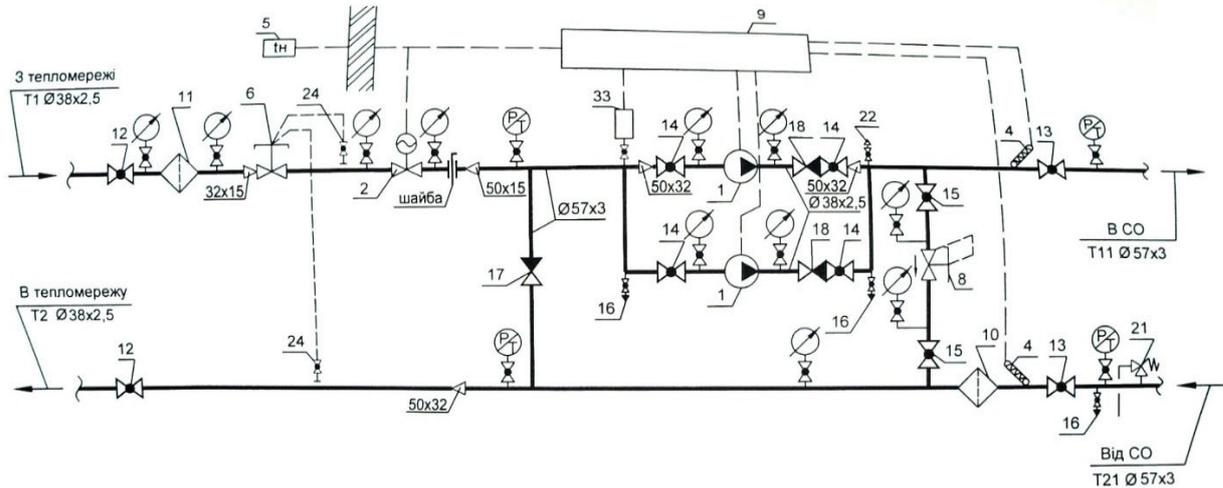


Рис. 3.1 – Схема побудови та функціонування системи тепlopостачання будівлі

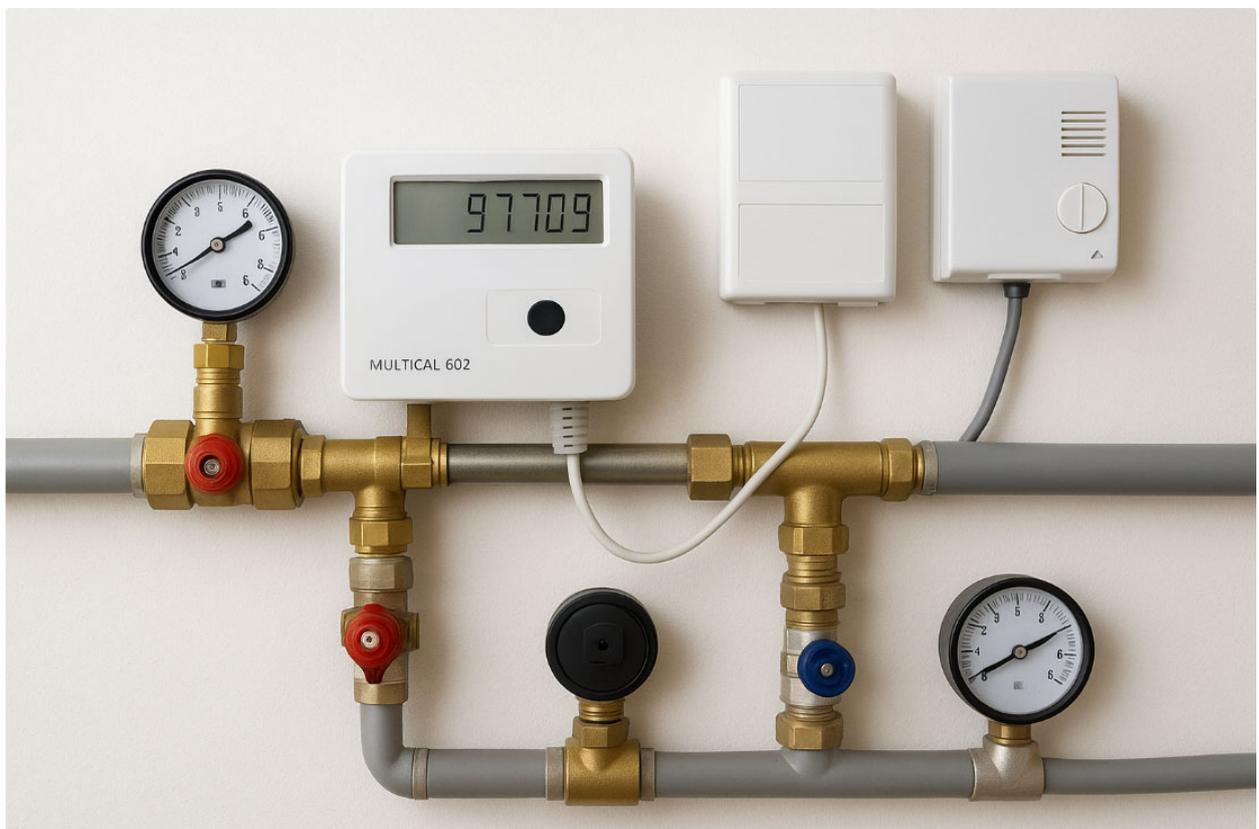


Рис. 3.2 - Тепловий лічильник у зборі з елементами керування.

На подаючій гілці ЦО, одразу після загальних лічильників, здійснюється відбір для системи централізованого постачання гарячої води. Цей відібраний теплоносій послідовно проходить через пластинчастий теплообмінник для охолодження до 55°C та змішується з підживленням холодною водою, обсяг якої коливається від 10 до 32 м^3 , а також підмішується водою зі зворотного трубопроводу ЦО (рис. 3.1). Це означає, що ЦПГВ — гаряче водопостачання — автоматично враховується загальним підсумком теплотлічильника і фіксується як єдине споживання, що включає як опалення, так і підготовку гарячої води.

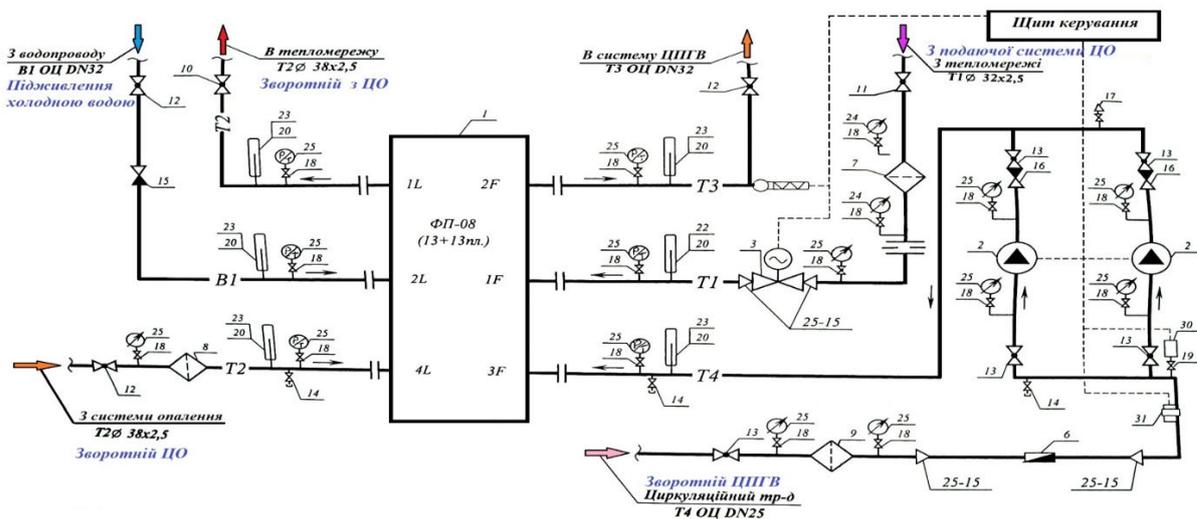


Рис. 3.3 – Функціональна схема теплообмінного пристрою.

Транспортування теплоносія здійснюється з мережі «Київтеплоенерго» відповідно до температурного графіку, який прив'язаний до зовнішньої температури, оскільки система центрального опалення (ЦО) є відкритою та залежною. Подачу теплоносія в системи ЦО та ГВП забезпечують мережні насоси Wilo. Процес виробництва гарячої води відбувається у пластинчастому теплообміннику ФП-08 (FP-14-13-1-EN): він підігріває циркуляційну воду ГВП (Т4) мережевою водою (Т1) до кінцевої температури 55°C (Т3). Конструкція теплообмінника включає два окремі контури (внутрішній та зовнішній), кожен з яких має по два входи теплоносіїв і один вихід. Саме в цьому теплообміннику до

зворотного теплоносія опалення (Т2) підмішується холодна вода (В1), і вже ця змішана вода через лічильник повертається в мережу централізованої подачі «Київтеплоенерго».

В1 – підживлення трубопроводу мережною холодною водою (ХВП) у необхідному обсязі для компенсації зливу гарячої води при споживанні на власні потреби. Температура холодної води за відсутності датчиків у опалювальний період приймається за рекомендаціями рівною $t_{\text{хол}} = 5 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

Т1 – гаряча вода, що подається в систему централізованого опалення з мережі «Київтеплоенерго» відповідно до опалювального графіку. У розрахунках використовується середня місячна температура, визначена за показниками теплолічильника.

Т2 – гаряча вода, що подається в систему централізованого опалення.

Т3 та Т4 – вироблена гаряча вода та її повернення на підігрів по циркуляційній гілці.

3.2.2 Характеристика трубопровідних систем

Траса теплових комунікацій пролягає через підземний паркінг сусіднього будинку 16, загальна довжина цієї ділянки становить 55 м (рис. 3.4). Паркінг займає площу першого та підвального поверхів, при цьому два в'їзди залишаються відкритими протягом більшої частини доби і закриваються лише на нічний час. Хоча система повітряного опалення є частиною його проекту, паркінг не опалюється вже кілька років з метою економії коштів. Таким чином, температура в ньому становить лише на 5–10 градусів вище за температуру зовнішнього повітря.



Рис 3.4 – Ділянка трубопроводу, що прокладена в неопалюваній зоні

Наступна ділянка шляху теплових трубопроводів пролягає через дві неопалювальні кімнати в цьому ж будинку, а далі вони переходять у кімнату будинку 14. Протяжність мережі на цій ділянці становить 24 м. Після кімнати будинку 14 трубопроводи проходять через приміщення Магазину на цокольному поверсі (близько 12 м), після чого дістаються до загального стояка, звідки вже здійснюється розведення центрального опалення (ЦО) по всіх поверхах.

На ділянці, що проходить через паркінг, прокладено чотири труби: подача і зворот ЦО, а також подача і зворот ЦПГВ. Зовнішній діаметр ЦО-трубопроводів становить $d=57$ мм, а ЦПГВ-трубопроводів — $d=38$ мм. Всі вони мають ізоляцію товщиною 9 мм з синтетичного етилен-пропіленового каучуку, теплопровідність якого $\lambda=0,06$ Вт/(м·К). Загальна протяжність цієї ділянки теплових мереж складає 76 м. При цьому зовнішня площа трубопроводів ЦО становить приблизно $36,74$ м², а площа трубопроводів ЦПГВ приблизно $27,68$ м².

Після цього теплові трубопроводи продовжують свій шлях, проходячи через дві неопалювальні кімнати цього ж будинку, а потім входячи в кімнату будинку

14. Протяжність мережі на цій ділянці складає 24 м. Далі, з кімнати будинку 14, мережа трубопроводів проходить приблизно 12 м через приміщення Магазину, що знаходиться на цокольному поверсі, і вже звідти підключається до загального стояка для розведення системи ЦО по поверхах, що деталізовано на рисунку 2.5.

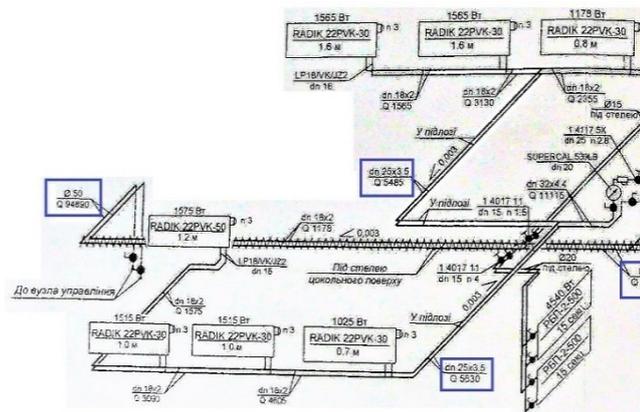


Рис. 3.5 - Розподіл теплових комунікацій на рівні першого поверху

Система опалення, відповідно до зображення на рисунку 3.5, є двотрубною. Щодо кінцевого оснащення, то в кожній квартирі будинку встановлено від 5 до 8 радіаторів моделі Radik 22 PVK-30.

Комунікації ГВП розведені індивідуально, проте креслення цієї системи, необхідні для повного аналізу, на жаль, недоступні.

Система опалення має індивідуальне розведення до кожної квартири, на якому для обліку споживання встановлено індивідуальний теплотічильник. Варто зазначити, що лічильники також передбачені і встановлені на системі ГВП.



Рис. 3.6 – Індивідуальний прилад обліку теплового споживання.

3.3. Контроль температурного режиму трубопроводу центрального опалення.

Для усунення причини значних нарахувань на МЗК було необхідно перевірити стан системи транспортування теплоносіїв центрального опалення (ЦО) та гарячого водопостачання (ГВП). Відтак була ініційована тепловізійна зйомка транспортуючих мереж для планування подальших вимірювань температур і визначення фактичних втрат тепла. Для цієї мети застосовувався Тепловізор ULIRvision Ti 384 (384times288 матриця, №10430155). Отримані дані спостереження, які можна побачити на рисунку 3.8, були оброблені за допомогою програмного забезпечення IRSee.

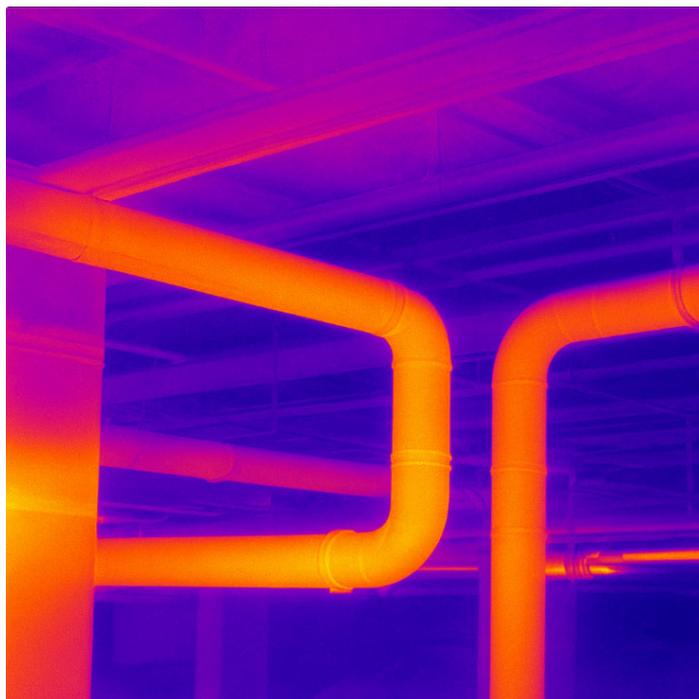


Рис. 3.8 - Тепловізійна діагностика інженерних мереж автостоянки

За результатами вимірювань, температура в паркінгу знаходилась в діапазоні 8–9С. Навіть теплоізольовані трубопроводи мали температури від 14⁰С до 24⁰С, що підтверджує їхню недостатню ефективність. Найгарячішими точками виявилися відкриті неізольовані вентиля та перехідні фланці, які практично не віддавали тепло, маючи температуру 48–52⁰С. Слід додати, що ділянки розподілу по квартирах також мали значну температуру, лише на 3–5 К меншу за робочу температуру теплоносія.

Вимірювання температури проводились з 5 по 23 березня на поверхні труб під ізоляцією в паркінгу, а також на трубах біля індивідуальних теплових лічильників у квартирах; місця вимірювань показані на рисунку 3.9. Для запису даних використовувалися програмовані логери Thermochron iButton™ (моделі DS 2424 та DS 2422), які реєстрували температуру з інтервалом 10 хвилин. Ці логери забезпечували вимірювання в діапазонах -23⁰С до 123⁰С та 0⁰С до 85⁰С, з високою точністю запису значень — 0,1⁰С та 0,06⁰С відповідно. Зведення даних було виконано в Excel, а їхня обробка у вигляді графіків наведена на рисунках 3.10 – 3.11.

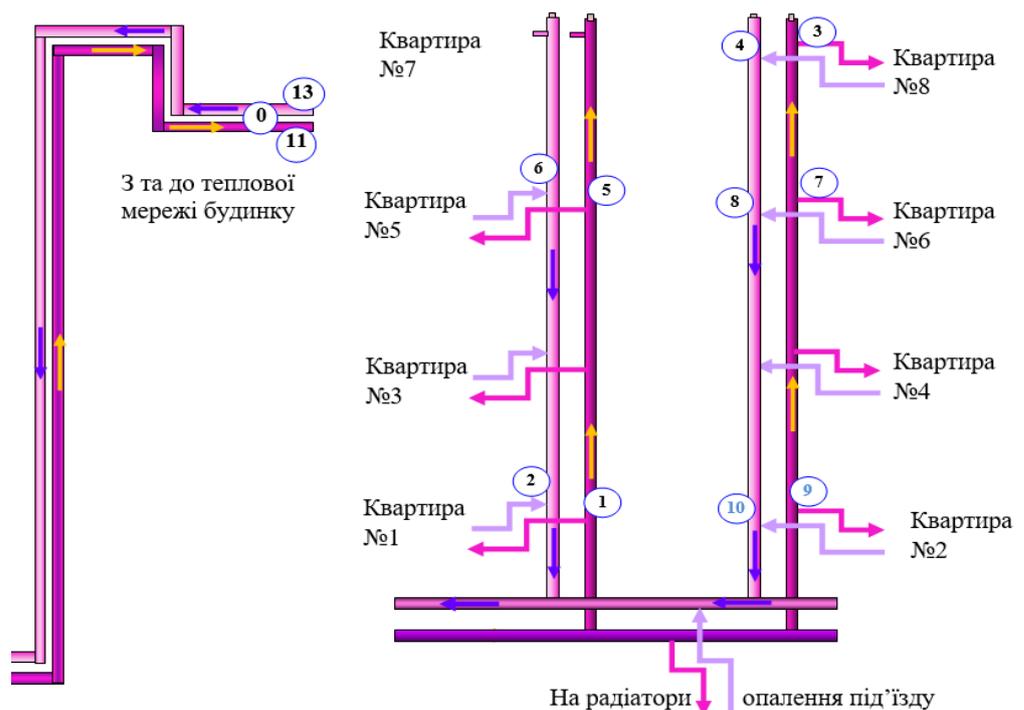


Рис. 3.9 – Пункти контролю температури теплоносія на магістралях системи опалення.



Рис. 3.10 - Коливання температур поверхні трубопроводів у зоні паркінгу.

З розподілу температур (Рис. 3.10) очевидно, що температура на поверхні труби на початку і в кінці проходження паркінгу знижується протягом усього періоду вимірювань: для подаючої гілки градієнт становить 1,5–2,5 К, а для зворотного трубопроводу – 1,5 К. Це зниження температури на трубопроводі корелює з денним часом, коли відкриті двері паркінгу спричиняють сильні протяги. На графіку додатково відображено зниження температури трубопроводів, яке відповідає підвищенню температури на вулиці, що зросла від 5°C до 10–15°C.

Аналізуючи дані на рисунку 3.11, можна зробити висновок про режим роботи пристроїв регулювання. Зокрема, можна відслідкувати роботу терморегулюючих пристроїв, а також вплив втручання користувачів через ручне регулювання радіаторів, що є індикатором фактичного споживання тепла в помешканнях.

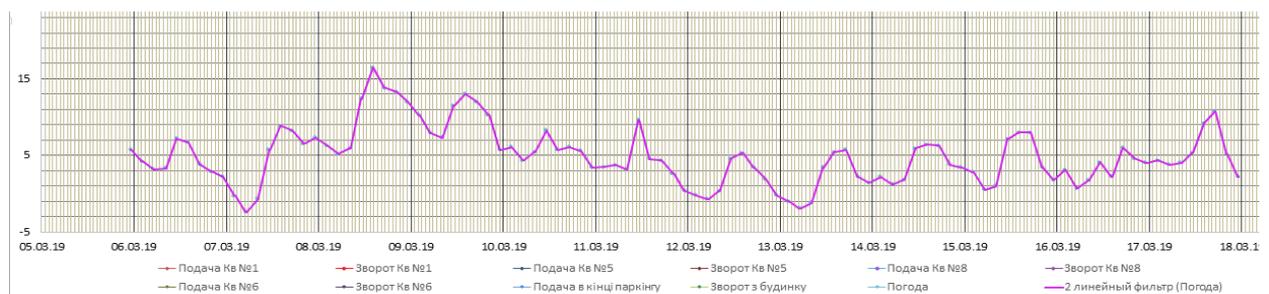


Рис. 3.11 - Загальна динаміка коливань температур на трубопроводах у зоні квартирних введів.

На основі проведених розрахунків встановлено, що величина теплових втрат у відкритому паркінгу значною мірою залежить від температури зовнішнього повітря. Зниження температури спричиняє помітне збільшення енергетичних витрат, тоді як її підвищення призводить до їх зменшення.

Зокрема, при температурі повітря $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ сумарні місячні втрати складають близько 8,4 Гкал, що узгоджується з графічними даними (рис. 3.12). Враховуючи, що протягом грудня температура коливалася в межах від $-9\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+1\text{ }^{\circ}\text{C}$, а середнє значення становило $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$, можна вважати, що температура близько $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ у відкритому паркінгу є реалістичною.

Отримані дані підтверджують достовірність розрахунків і можуть бути використані для подальшої оцінки теплового балансу об'єкта та планування енерговитрат.

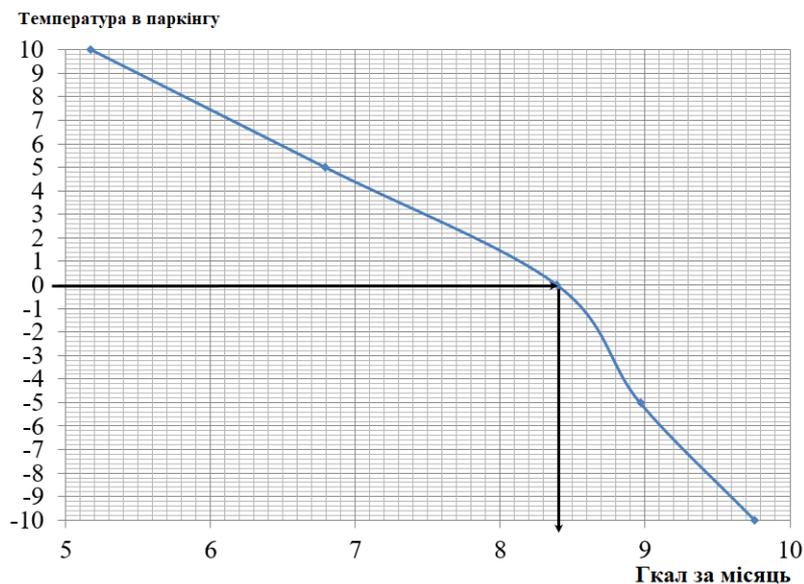


Рис. 3.12 – Залежність енергетичних втрат труб у паркінгу від зовнішньої температури.

3.4. Визначення споживаної енергії будівлі

Для нашого випадку енергоспоживання враховуватиметься як сума двох елементів. Перший елемент — це енергопотреба на опалення (згідно з розрахунками в пункті 2.4.8). Другий елемент — це регулярні неутилізовані тепловтрати системи теплозабезпечення, які складаються з теплових втрат, що виникають при транспортуванні, а також при регулюванні та розподіленні теплової енергії в системі.

3.4.1 Сумарне енергоспоживання підсистеми тепловіддачі при опаленні

Сумарні тепловтрати підсистеми тепловіддачі обчислюємо за формулою:

$$Q_{H,em,ls} = \left(\frac{f_{hydr} f_{im}}{x_{em}} \right) x Q_{H,em,out}, \quad (3.1)$$

Де:

$Q_{H,em,ls}$ – загальні тепловтрати підсистеми тепловіддачі за конкретний місяць, розраховані в пункті 2;

f_{hydr} – коефіцієнт, що враховує гідравлічне налаштування системи; приймаємо $f_{hydr} = 1$, оскільки система налагоджена та оснащена автоматичними регуляторами перепаду тиску на стояках;

f_{im} – коефіцієнт, що враховує використання періодичного теплового режиму приміщення; приймаємо $f_{im} = 1$ для постійного теплового режиму;

η_{em} – загальний рівень ефективності тепловіддавальної складової системи у

$$\eta_{em} = \frac{1}{[4 - (\eta_{str} \eta_{ctr} \eta_{emb})]}, \quad (3.2)$$

де η_{str} – де η_{str} – складова загального рівня ефективності, що враховує вертикальний розподіл температури повітря в приміщенні.

$$\eta_{em} = \frac{\eta_{str1} + \eta_{str2}}{2} = \frac{0,934 + 0,994}{2}$$

=0,905;

η_{ctr} – складова загального рівня ефективності, що враховує регулювання температури приміщення; приймаємо $\eta_{ctr} = 0,97$ для ПІ-регулювання.

η_{emb} – складова загального рівня ефективності, що враховує питомі тепловтрати через зовнішні огороження (для вбудованих систем).

Розраховані значення для кожного місяця зведено до таблиці 3.1.

η_{ctr} – Складова ефективності системи, що враховує контроль температури приміщення; для ПІ-регулювання $\eta_{ctr} = 0,97$.

η_{emb} – Складова ефективності системи, що враховує контроль втрати зовнішніх огорожень (для вбудованих систем).

Результати розрахунків по місяцях зведено в таблицю 3.1.

Таблиця 3.1 Загальні тепловтрати підсистеми тепловіддачі, кВт·год.

місяць	$Q_{em\ out}$	$Q_{H\ em\ ls}$
1	24094,812	2360,0334
2	15953,471	2471,7785
3	13560,082	1675,9654
4	7129,6641	881,24445
5	0	0
6	0	0
7	0	0
8	0	0
9	0	0
10	9066,83	1123,6165
11	13973,973	1727,1255
12	17824,883	2232,457

Отже отримуємо, $Q_{H\ em\ ls} = 11\ 956$ кВт·год за сезон.

3.4.2 Вхідна енергія підсистеми тепловіддачі

Енергію, що необхідна для роботи підсистеми тепловіддачі/тепловиділення, визначимо за формулою:

$$Q_{H,em,in,i} = Q_{H,em,out,i} + Q_{H,em,ls,i} \quad (3.3)$$

$Q_{H,em,out,i}$ – енергія виходу підсистеми тепловіддачі за і-й місяць, що дорівнює енергопотребі $Q_{H,nd,i}$ для визначеної комбінації зон, обслуговуваних цією підсистемою, Вт·год;

де $Q_{H,em,ls,i}$ – загальні тепловтрати підсистем тепловіддачі протягом i -го місяця, Вт·год, розраховані в пункті 3.4.1.

Розраховані значення помісячної енергії входу до підсистем тепловіддачі зведено в таблицю 3.2.

Таблиця 3.2 – Розраховані значення помісячної енергії

місяць	$Q_{em\ out\ i}$	$Q_{H\ em\ ls\ i}$	$Q_{H\ em\ in\ i}$
1	24094,8112	2360,0334	24454,846114
2	15953,4712	2471,7784	17925,250911
3	13560,0812	1675,96544	15236,0446552
4	7129,66421	881, 2444	8010,858334
5	0,0	0,0	0,0
6	0,0	0,0	0,0
7	0,0	0,0	0,0
8	0,0	0,0	0,0
9	0,0	0,0	0,0
10	9066,815	1123,61617	10 237,415717
11	13973,9715	1727,1217	15701,087614
12	178 24,8815	2232,45717	23022,336114

Отже сумарна енергія входу до підсистеми тепловіддачі дорівнює $Q_{H,em,in,I} = 108538,2555$ кВт·год.

3.4.3 Розрахунок енергоспоживання підсистеми розподілення для опалення

Тепловтрати систем розподілення в нашому випадку — це втрати через трубопроводи, які прокладені через неопалюваний паркінг. Загальна протяжність цих комунікацій становить 76 м. Нами заплановано розрахунок тепловтрат цих трубопроводів за грудень 23 23 року. У паркінгу розташовані чотири труби (подача та зворот ЦО, подача та зворот ЦПГВ). Зовнішній діаметр труб ЦО — $d=57$ мм, ЦПГВ — $d=38$ мм. Ізоляція виконана з синтетичного етилен-пропіленового каучуку, має товщину 10 мм та експлуатаційну теплопровідність $\lambda=0,06$ Вт/(м·К). Розрахунки базуються на добових середньомісячних температурах, при цьому температура в паркінгу для найхолодніших місяців прийматиметься на рівні $+1$ – $+5^{\circ}\text{C}$.

Тож розрахуємо тепловтрати трубопроводу за формулою:

$$Q_{H,dis,ls,i} = \sum \Psi_{L,j} (\theta_{m,i} - \theta_{i,j}) L_j \cdot t_{op,an,i}, \quad (3.4)$$

де $\Psi_{L,j}$ – лінійний коефіцієнт теплопередачі j -го трубопроводу, Вт/(м·К);

$\theta_{m,i}$ – середня температура теплоносія в зоні упродовж i -го місяця, °С;

θ_i – температура оточуючого середовища, °С;

L – довжина трубопроводу, м;

J – індекс, що позначає трубопроводи з однаковими граничними умовами;

$t_{op,an,i}$ – години опалення упродовж i -го місяця, год.

Розрахуємо лінійний коефіцієнт трубопроводів опалення за формулою:

$$\Psi_{ins} = \frac{\pi}{\frac{1}{2 \cdot \lambda_d} \ln \frac{d_a}{d_i} + \frac{1}{h_a d_a}}, \quad (3.5)$$

де d_a – зовнішній діаметр трубопроводу з теплоізоляцією, м;

d_i – внутрішній діаметр трубопроводу без теплоізоляції, м;

h_a – загальний коефіцієнт тепловіддачі зовнішньої поверхні (враховуючи конвекцію та випромінювання), Вт/(м²·К); для ізольованих трубопроводів приймаємо $h_a = 8$ Вт/(м²·К).

λ_D – теплопровідність теплоізоляційного матеріалу; для синтетичного етілен-пропіленового каучуку $\lambda_D = 0,06$ Вт/(м·К).

Підставивши ці значення у формулу (3.5), отримаємо:

для трубопроводів опалення

$$\begin{aligned} \Psi_{ins} &= \frac{3,143}{\frac{1}{2 \cdot 0,062} \ln \frac{0,07733}{0,051} + \frac{1}{8 \cdot 0,0583}} = 0,623 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}, \\ \Psi_{ins} &= \frac{3,14}{\frac{1}{2 \cdot 0,065} \ln \frac{0,0558}{0,0325} + \frac{1}{8 \cdot 0,0558}} = \\ &= 0,448 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}} \text{ – для трубопроводів гарячого водопостачання.} \end{aligned}$$

Застосовуючи відповідну формулу, буде здійснено розрахунок помісячних тепловтрат трубопроводів. Вихідними даними для цього будуть середні температури теплоносія та середні температури в неопалюваних приміщеннях,

які були отримані в ході дослідження і усереднені для кожного місяця. Розрахункові показники для кожного окремого трубопроводу будуть фіналізовані та зведені до Таблиць 3.3, 3.4, 3.5 та 3.6.

Таблиця 3.3 Втрати теплової енергії у трубопроводі подачі опалення.

місяць	$Q_{H\ dis\ ls\ i}$, Вт·год	$t_{ср\ прим}$	$t_{теплонос}$	ГОДИН опалення
1	2391165,95	5,305	73,47	744,4
2	2444103,64	6,405	67,7	672
3	2448747,55	8,004	63,54	744,0
04	743706,854	14,0011	60,94	336,0
11	2304814,4	6,90	65,94	723,0
12	2299873,24	5,50	71,4	744,0

Таблиця 3.6 – Теплові втрати теплоносія в обратній магістралі гарячого водопостачання.

місяць	$Q_{H\ dis\ ls\ i}$, Вт·год	$t_{ср\ прим}$	$t_{теплонос}$	ГОДИН опалення
1	76426,9	5,301	35,92	744,4
2	1062238	6,401	39,92	672
3	1172760	8,001	41,42	744,0
4	524704,86	14,001	46,922	336,0
11	1060173,22	6,901	38,1	723,0
12	1077956,22	5,501	36,22	744,0

Сумарні тепловтрати становлять $Q_{H\ dis\ ls\ i} = 33798\ \text{кВт}\cdot\text{год} = 29,56\ \text{Гкал}$.

3.4.4 Потік енергії, що надходить до підсистеми розподілу

Енергію, що потрібна для роботи підсистеми розподілення, Вт·год, визначають за формулою:

$$Q_{h=H\ dis\ in\ I} = Q_{H\ dis\ out\ I} + Q_{H\ dis\ ls\ nrvd\ I}, \quad (3.6)$$

Де:

$Q_{H_dis_out,i}$ – енергія виходу з підсистеми розподілення за і-й місяць,

розрахована в пункті 3.4.3;

$Q_{H,dis,ls,nrvd,i}$ – неутилізовані тепловтрати підсистеми розподілення за і-й місяць, розраховані в пункті 3.2.3.

Розраховані значення зведено до таблиці 3.7.

Таблиця 3.7 – Енергія входу в підсистему розподілення

місяць	$Q_{H,dis,out,i}$	$Q_{H,em,ln,i}$	$Q_{H,dis,in,i}$
1	6116,62	24454,852	27571,428
2	6013,02	17925,251	23938,325
3	6243,03	15236,041	24479,029
4	2530,84	8010,8584	10541,62
10	2966,65	10 237,424	13154,028
11	6129,96	15701,094	2 2331,022
12	6755,64	23022,344	26777,924

3.4.5 Втрати тепла в системі виробництва теплової енергії

Втрати теплової енергії підсистемою виробництва тепла.

$$Q_{H,gen,ls,i} = \frac{Q_{H,gen,out,i}(1-\eta_{H,gen})}{\eta_{H,gen}}, \quad (3.8)$$

Де:

$\eta_{H,gen}$ – ефективність підсистем виробництва/генерації та акумулювання теплоти; для централізованого теплопостачання з якісним регулюванням, зрізкою температурного графіку та погодним коригуванням в ІТП приймаємо $\eta_{H,gen} = 0,96$;

$Q_{H,gen,out,i}$ – енергія виходу з підсистем виробництва/генерації та акумулювання теплоти за і-й місяць, визначена згідно з пунктом 3.2.5.

Результати розрахунків тепловтрат системи генерації теплоти зведено в таблицю 3.8.

Таблиця 3.8 – Тепловтрати системи

місяць	$Q_{H\ dis\ in\ i}$	$Q_{H\ gen\ ls\ i}$
1	27571,4484	1148,81034
2	23938,3355	997,4306254
3	24479,0594	894,96084
4	10541,6825	439,236744
5	0	0
6	0	0
7	0	0
8	0	0
9	0	0
10	10 237,4165	424,475665
11	2 2331,06254	909,62767
12	26777,9945	1115,74985

тепловтрати системою генерування $Q_{H\ gen\ ls\ i} = 5939^*$ кВт·год.

3.4.6 Вимоги до теплової енергії для опалювальних потреб

Визначимо споживання теплової енергії для опалення за допомогою формули:

$$Q_{H,use,i} = Q_{H,gen,out,i} + Q_{H,gen,ls,i}, \quad (3.9)$$

Де:

$Q_{H,gen,out,i}$ – енергія виходу з підсистем виробництва/генерації та акумулювання теплоти за і-й місяць, Вт·год, визначена в пункті 3.4.4;
 $Q_{H,gen,ls,i}$ – загальні тепловтрати підсистем виробництва/генерації та акумулювання теплоти за і-й місяць, Вт·год, визначені в пункті 3.4.5.

З метою узагальнення та зручності подальшої роботи, зведемо детальний розрахунок споживання теплової енергії за весь опалювальний сезон до єдиної таблиці — Таблиці 3.9. Це дозволить наочно об'єднати всі помісячні показники.

Таблиця 3.9 – Споживання теплової енергії

місяць	$Q_{H\ dis\ in\ i}$	$Q_{H\ gen\ ls\ i}$	$Q_{H\ use\ i}$
1	27571,4484	1148,81032	28723,2615
2	23938,33554	997,430622	24935,775
3	24479,0595	894,96082	22374,024
4	10541,6825	439,236741	10980,925
5	0	0	0

Продовження таблиці 3.9

6	0	0	0
7	0	0	0
8	0	0	0
9	0	0	0
10	10 237,4164	424,475662	10611,892
11	2 2331,0624	909,62762	22740,6922
12	26777,9944	1115,74982	27893,74

Споживання теплової енергії $Q_{H\ use\ i} = 151347,655\ \text{кВт}\cdot\text{год} = 130,277\ \text{Гкал}$.

3.5 Електроопалення

Щоб вирішити проблему значних та небажаних тепловтрат у трубопроводах центрального опалення, розглянемо технічну та економічну можливість встановлення індивідуальних електричних котлів у кожній квартирі. Цей захід дозволить мінімізувати втрати тепла в мережі.

Обчислення споживання енергії для системи електричного опалення буде виконано у строгій відповідності до алгоритму, описаного у пунктах 3.4.1 – 3.4.6.

Результати заносимо до таблиці 3.10

Таблиця 3.10 – Енергоспоживання при електроопаленні

Міс.	$Q_{H\ dis\ out\ i}$	$Q_{em\ out}$	$Q_{H\ em\ ls}$	$Q_{H\ em\ in\ i}$	$Q_{H\ dis\ in\ i}$	$Q_{H\ gen\ ls\ i}$	$Q_{H\ use\ i}$
1	0	24094,81	2340,033	24454,85	24454,85	437,454	2 2392,7
2	0	15943,47	2441,778	17945,25	17925,25	365,4244	23241,07
3	0	13540,08	16745,965	15436,04	15236,04	310,9397	15546,98
4	0	7149,664	884, 2444	8010,858	8010,858	163,4849	8174,345
10	0	9046,8	11243,616	10 237,424	10 237,42	237,9044	10395,32
11	0	13473,97	1747,12	1574,09	15701,09	323,4404	16044,52
12	0	178,4 24,884	2232,457	23422,34	23022,34	408,6 241	23430,96

Таким чином, при електроопаленні $Q_{H\ use,i} = 110\ 852,94$ кВт·год. Як видно, у порівнянні з централізованим опаленням тепловтрати зменшилися на 40 595,72 кВт·год, що відповідає 34,95 Гкал за сезон.

3.6. Захист трубопроводу від тепловтрат

Посилаючись на пункт 1.1, зазначаємо, що паркінг, через який пролягає основна частина трубопроводу, за проектом мав повітряне опалення. Проте, на жаль, на сьогоднішній день ця система виключена з використання, що прямо впливає на температурний режим у приміщенні.

За діючими вимогами, для трубопроводів, що проходять через опалювані приміщення, необхідний шар ізоляції має бути 6 мм при $\lambda_{iz}=0,045$ Вт/(м·К) і перепаді температури 40°C . Хоча трубопроводи вже мають ізоляційний шар, він не відповідає новим експлуатаційним умовам (неопалюваний паркінг). Таким чином, розрахуємо необхідне утеплення, яке відповідатиме новим вимогам теплоізоляції для неопалюваних приміщень.[26].

Відповідно до нормативного документа [12], для трубопроводів опалення, розташованих у неопалюваних приміщеннях, передбачається утеплення шаром ізоляції. Товщина цього шару повинна відповідати внутрішньому діаметру трубопроводу, а його теплопровідність має складати $0,035$ Вт/(м·К).

З метою дотримання нормативних вимог по зниженню теплових втрат, проведемо розрахунок нового утеплення. Ми будемо використовувати ізоляцію K-FLEX з експлуатаційною теплопровідністю $\lambda_{iz}=0,038$ Вт/(м·К). Для трубопроводів опалення у розрахунок закладений діаметр 50 мм, а для трубопроводів гарячого водопостачання — діаметр 32 мм.

Проведемо обчислення тепловтрат для вже утепленої конструкції трубопроводу. Для цього буде використано послідовний алгоритм розрахунку, який представлений у пункті 3.2.3.

Таблиця 3.11 - Втрати тепла у утепленій магістралі подачі опалювальної системи.

місяць	$Q_{H\ dis\ ls\ i},$ Вт·год	$t_{ср\ прим}$	$t_{теплонос}$	ГОДИН опалення
1	775544,42	5,307	73,42	744,5
2	630512,97	6,407	67,722	672,0
3	6323 242	8,002	63,52	744,0
4	241 249,57	14,002	60,922	336,0
11	650232,72	6,902	65,9	723,0
12	745896,32	5,50	712	744,0

Таблиця 3.12 - Втрати тепла у утепленій зворотній магістралі опалювальної системи.

місяць	$Q_{H\ dis\ ls\ i},$ Вт·год	$t_{ср\ прим}$	$t_{теплонос}$	ГОДИН опалення
1	557998,81	5,307	73,42	744,5
2	475 2491	6,407	67,722	672,0
3	477145,91	8,002	63,52	744,0
4	249542,41	14,002	60,922	336,0
11	463958,21	6,902	65,9	723,0
12	53 2307,1	5,50	712	744,0

Таблиця 3.13 – Втрати тепла у утепленій магістралі подачі гарячої води.

місяць	$Q_{H\ dis\ ls\ i},$ Вт·год	$t_{ср\ прим}$	$t_{теплонос}$	ГОДИН опалення
1	535490,91	5,301	55	744,5
2	499884,611	6,401	55	672,0
3	535223,3	8,0011	55	744,0
4	240856,71	14,00	55	336,0
11	530080,511	6,9011	55	723,0
12	563692,7	5,50	55	744,0

Таблиця 3.14 – Втрати тепла у трубі зворотного потоку гарячого водопостачання.

місяць	$Q_{H\ dis\ ls\ i},$ Вт·год	$t_{ср\ прим}$	$t_{теплонос}$	ГОДИН опалення
1	329698,61	5,302	35,91	744
2	344570,71	6,4012	39,911	672
3	380350,21	8,001	41,4	744
4	¹⁶⁹ 249,61	14,001	46,911	336
11	3438361	6,901	38,1	723
12	349603,31	5,5011	36,2	744

Таким чином, сумарні тепловтрати всіма трубопроводами за сезон становлять $Q_{H_dis_ls,i} = 11\,173$ кВт·год (9,6 Гкал). Згідно з розрахунками, при утепленні трубопроводів тепловтрати зменшуються на 22 616 кВт·год (24,4 Гкал), тобто приблизно в 3 рази.

Отже, щоб оцінити економічну доцільність проведеного утеплення, розрахуємо загальне енергоспоживання при утепленому трубопроводі. Цей розрахунок буде здійснено за послідовним алгоритмом, описаним у пунктах 3.2.1 – 3.2.6. Підсумкові дані будуть внесені до Таблиці 3.15.

Таблиця 3.15 – Енергоспоживання будівлі за умови утеплення трубопроводів.

Міс.	$Q_{H_dis\ out\ i}$	$Q_{em\ out}$	$Q_{H\ em\ ls}$	$Q_{H\ em\ in\ i}$	$Q_{H\ dis\ in\ i}$	$Q_{H\ gen\ ls\ i}$	$Q_{H\ use\ i}$
1	2 248,6935	24094,811	2360,033	24454,851	23653,54	985,5641	24639,1
2	2450,1675	15953,471	2471,778	17925,2511	24875,412	828,1424	23703,56
3	2324,7381	13560,0811	1675,9651	15236,041	17260,781	7 24, 2493	17979,981
4	823,79821	7129,6641	881, 2444	8010,858	8831,657	367,9857	9 249,64211
10	8 24,41	13973,9711	1727,1211	10 237,4211	10 237,42	424,4757	10611,891
11	2488,0771	178 24,88	2232,457	15701,0911	17689,16	737,0485	23426,24
12	2 240,9991	13973,971	1727,121	23022,34	22243,34	925,55561	23138,891

Таким чином, при утепленні трубопроводу $Q_{H_use,i} = 125\,552,8$ кВт·год, що на 25 794,8 кВт·год (22,23 Гкал) за сезон менше, ніж у існуючому випадку.

3.7. Оцінка економічних показників

Згідно з розрахунками, викладеними в пункті 3.4.3, тепловтрати трубопроводів опалення та гарячого водопостачання дорівнювали приблизно 29 Гкал. Після їхнього утеплення (згідно з розрахунком у пункті 3.5) цей обсяг скоротився до 9,6 Гкал.

Якщо припустити, що Капітальні витрати (\$K\$) — це сума вартості матеріалів та вартості монтажних робіт, то формула матиме такий вигляд:

$$K = (S_{\text{ЦПГВ}} \cdot \text{Ц}_{\text{ЦПГВ}}) + (S_{\text{ОПАЛ}} \cdot \text{Ц}_{\text{ОПАЛ}}) + (L_{\text{МОНТ}} \cdot \text{Ц}_{\text{МОНТ}})$$

Де:

- $C_{\{\text{ЦПГВ}\}} = 700 \text{ \textit{ \left\{ \frac{\text{грн}}{\text{м}} \right\} }^{2\$}}$ (ціна ізоляції ЦПГВ)
- $C_{\{\text{ОПАЛ}\}} = 1260 \text{ \textit{ \left\{ \frac{\text{грн}}{\text{м}} \right\} }^{2\$}}$ (ціна ізоляції опалення)
- $C_{\{\text{МОНТ}\}} = 30 \text{ \textit{ \left\{ \frac{\text{грн}}{\text{м}} \right\}}$ (ціна монтажу)

$$K = \pi \cdot 0,0578 \cdot 76 \cdot 2 \cdot 1265 + \pi \cdot 0,034 \cdot 76 \cdot 2 \cdot 700 + 30 \cdot 71 \cdot 4 = 56197,9 \text{ грн.}$$

$$T_{\text{ок}} = \frac{56100}{366914,8} = 1,4.$$

На основі проведених розрахунків встановлено, що простий термін окупності проекту з утеплення трубопроводу складає 1 рік і 5 місяців.

Зниження витрат на матеріали можливе через Урядову програму «теплих кредитів» [23], яка покриває 40%–70%, а також місцеві програми співфінансування: 30% від обласної та міської. Завдяки цій схемі, загальна компенсація цілком покриває вартість матеріалів. Таким чином, капітальні витрати складаються лише з 9123 грн на монтажні роботи та 2–4 тис. грн на погашення відсоткової ставки кредиту. В результаті такий фінансовий підхід дозволяє скоротити термін окупності до надзвичайно короткого періоду — 4–5 місяців.

3.7.1. Окупність встановлення індивідуальних електричних котлів

Як було розраховано у пункті 3.4.6, енергоспоживання будівлі при переході на електричне опалення дозволить заощадити 34,9 Гкал. Цей показник економії є значним, але для визначення реальної фінансової вигоди треба врахувати, що ціна (тариф) на опалення та на електроенергію відрізняється.

Розрахунок економії:

Централізоване опалення: 130,2 Гкал, що в грошовому еквіваленті становить 245 404,2 грн;

Електроопалення: 110 752,9 кВт·год, що відповідає 236 065,9 грн (при тарифі 1,68 грн/кВт·год).

Отже, економія за сезон складе 29 338,3 грн.

Розрахунок капітальних затрат:

Для опалення квартир із опалюваною площею 100–110 м² підійдуть котли потужністю 11 кВт (розрахунок ведеться з умови: 1 кВт потужності забезпечує опалення 10 м² площі).

Характеристики котлів наведено в таблиці 3.16.

Таблиця 3.16 – Технічні характеристики котлів

Технічні характеристики котлів	
Номинальна потужність, кВт	11
Напруга живлення, В	380
Частота струму в мережі, Гц	50
Нагрівальний елемент - блок, кількість ТЕНів	3
Кількість ступенів нагрівання	3
Максимальний тиск у системі, бар	3
Регулювання опалюваного контура, °С	Цифрове від 10 °С до 75 °С по воді, від 7°С до 40°С по повітрю
Ємність теплообмінника, дм ³	2,6
Габаритні розміри, мм, ВхШхГ	650х290х 240

Вартість обладнання та монтажу:

- Вартість котла з додатковим обладнанням та матеріалами — 10 000 грн;
- Вартість монтажу — 6 000 грн;
- Враховано також 40 000 грн на відключення від комунікацій централізованого опалення (ЦО) та гарячого водопостачання (ЦПГВ).

Термін окупності за (3.15) буде становити:

$$T_{\text{ок}} = \frac{112000 + 40000}{29340} = 5,2 \text{ років.}$$

Треба відзначити, що крім стандартного тарифу на електроенергію, існує можливість застосування нічного тарифу, а також пільгового тарифу для квартир та будинків, які обладнані і використовують електроопалення.

Розглянемо спеціальний тариф для будинків з електроопаленням, де вартість 1 кВтсгод складає 0,9 грн до ліміту 3000 кВтсгод і 1,68 грн понад цей ліміт. Умовою переходу є відключення всього будинку від ЦО. Цей процес (регламентований [23]) включає голосування ОСББ, подання заяви до місцевого самоврядування та подальший розгляд комісією, яка аналізує технічну можливість відключення. Крім того, обов'язковою є розробка відповідного проекту. Важливо: відключення від ЦО та ГВП здійснює виконавець послуг (КП), але усі фінансові витрати, пов'язані з цим відключенням, покладаються на ОСББ.

Таким чином, для коректного розрахунку терміну окупності, до капітальних затрат слід додати вартість розроблення проектної документації та вартість робіт із фізичного відключення від комунікацій ЦО та ЦПГВ. Ці витрати становитимуть: 30 000 грн на проект та 40 000 грн на роботи з відключення відповідно.

Вирахуємо термін окупності за (3.15):

$$T_{\text{ок}} = \frac{112300 + 35000 + 40050}{215424,2 - 110763 \cdot 0,9} = 1,64 \text{ років.}$$

Розглянемо режим нічного тарифу (приклад наведено в пункті 3.7.1). У цьому випадку також необхідно відмовитися від централізованого опалення (ЦО) та гарячого водопостачання (ЦПГВ), щоб уникнути оплати тепловтрат МЗК.

Котли підтримуватимуть внутрішню температуру приміщень на рівні 23 °С в нічний період (з 22:00 до 7:00). Вранці та ввечері здійснюватиметься догрівання кімнат до 22 °С, а з 10:00 до 15:00 температура знижується до 15–16 °С. Такий режим роботи дозволяє зберегти комфортні умови, оскільки пониження температури відбувається у час, коли більшість мешканців відсутні.

Припустимо, що 2/3 електроенергії котли споживатимуть у нічний час. Відповідно, перерахуємо термін окупності за формулою (3.15) з урахуванням встановлення двозонного лічильника (приклад розрахунку наведено в пункті 3.7.1).

$$T_{\text{ок}} = \frac{112400 + (2540 + 600) \cdot 8 + 40400}{210938 - (73866 \cdot 0,84 + 36917 \cdot 1,68)} = 2,06 \text{ років.}$$

Незважаючи на включення додаткових капіталовкладень у розрахунок, як було показано, термін окупності інвестиції суттєво скоротився, що робить пропозицію фінансово привабливою.

Таким чином, результати аналізу підтверджують, що найкоротший термін окупності демонструє рішення щодо використання електродіалів для опалення, за умови переходу на спеціальний тариф, призначений для будівель з електроопаленням.

Слід зауважити, що реалізація цього заходу залежить від зовнішнього фактора: є ризик, що комісія може винести негативне рішення і не погодити відключення від системи ЦО та ЦПГВ.

3.7.2. Окупність утеплення магістралей опалювальної системи

Для досягнення додаткової економії розглянемо можливість реалізації двох окремих заходів: утеплення трубопроводу опалення та постійне використання бойлерів для ГВП, не обмежуючись неопалювальним сезоном.

Тепловтрати трубопроводів опалення (пункт 3.4.3) за сезон складають 25 794,8 кВт·год (22,3 Гкал), що в грошовому вираженні дорівнює 36 893 грн. Для утепленого трубопроводу тепловтрати знижуються до 6 381 кВт·год (5,4 Гкал), або 8 934 грн, що забезпечує економію 24 058 грн.

Капітальні витрати на утеплення (пункт 3.7.2) визначаються за формулою:

$$K = \pi \cdot 0,0578 \cdot 78 \cdot 2 \cdot 1\,260,6 + 30 \cdot 76,6 \cdot 2 = 38\,838,44 \text{ грн}$$

Економія від застосування бойлерів з нічним тарифом становить 24 774,55 грн (пункт 3.7.1).

Таким чином, загальна економія від обох заходів дорівнює 40 832 грн, а сукупні капітальні витрати складають 63 638 грн.

Простий термін окупності розраховується за формулою (3.15):

$$T_{\text{ок}} = 63 \frac{638,00}{40,0} 832,121 \approx 1,56 \text{ років } T_{\text{ок}}$$

Отже, окупність складає приблизно 1 рік та 6,7 місяців. Якщо скористатися програмою теплих кредитів з відшкодуванням, капітальні витрати знижуються до 31 931 грн, а термін окупності становитиме 0,8 років.

Висновки до розділу

У розділі проведено розрахунок тепловтрат трубопроводів, який показав, що вони можуть досягати рівня споживання енергії на опалення в зимовий період. Для об'єктивної оцінки було виконано вимірювання температури теплоносія та поверхонь трубопроводів, а також температури навколишнього середовища в паркінгу, після чого розраховано фактичні тепловтрати. Розрахунки підтвердили, що тепловтрати на рівні 8,0 Гкал у грудні є реалістичними для даної системи.

Для зменшення втрат проведено аналіз та розрахунок декількох альтернативних заходів. Найбільшу економічну вигоду — 115 766 грн за сезон — забезпечує перехід на індивідуальні електричні котли з підключенням до пільгового тарифу для будинків з електропостачанням. Основна складність реалізації цього рішення полягає у ризику непогодження відключення будинку від систем центрального опалення та гарячого водопостачання з боку місцевих органів влади та відповідних комісій.

Варіант електроопалення з двозонним лічильником також забезпечує значну економію — 86 886 грн, але має аналогічні обмеження щодо відключення від централізованих систем.

Найменші капітальні витрати потребує використання бойлерів для гарячого водопостачання в опалювальний період. Оскільки бойлери вже встановлені у

квартирах, початкові інвестиції відсутні, а фінансова економія становить 24 245 грн за сезон.

Реалізація комбінованого заходу — утеплення трубопроводів опалення з використанням програми «теплі кредити» та застосування бойлерів для ГВП у опалювальний період — забезпечує збільшену економію до 40 834 грн, при цьому капітальні витрати на одну родину становитимуть лише близько 4 100 грн.

ВИСНОВОК

Робота над магістерською дисертацією довела, що досягнення вищого рівня енергоефективності реконструйованого об'єкта є економічно виправданим. Виявлені заходи не потребують значних фінансових вливань і забезпечують швидкий економічний ефект завдяки їхній оперативній окупності.

Аналіз показав, що найкритичнішою проблемою будівлі є неконтрольовані тепловтрати в місцях загального користування, головним чином, через неопалюваний паркінг. Було встановлено, що взимку ці втрати становлять аномально велику частку — до 50% загального енергоспоживання на опалення.

Протягом опалювального періоду зафіксовано, що втрати тепла через трубні комунікації сягнули близько 30 Гкал. У грошовому еквіваленті це становить майже 50 000 грн, що свідчить про значні фінансові збитки.

В рамках розробки стратегії модернізації системи теплопостачання будівлі, було сформовано чотири основні пакети рекомендацій для розгляду мешканцями:

- Радикальне рішення: Здійснення переходу на індивідуальне електричне опалення.
- Рішення для ГВП: Впровадження бойлерів для цілорічного приготування гарячої води (зокрема, в неопалювальний сезон).
- Рішення для зменшення втрат: Проведення заходів із теплоізоляції магістральних трубопроводів у зонах високих тепловтрат (паркінг).
- Ефективний компроміс: Поєднання утеплення трубопроводів і встановлення бойлерів для максимального ефекту.

Згідно з розрахунками, найбільшу річну економію (111 260 грн за сезон) забезпечує впровадження індивідуальних електричних котлів із застосуванням відповідного тарифу. Проте, цей фінансово привабливий варіант має критичний адміністративний недолік: він залежить від рішення місцевих органів влади та комісії щодо погодження виходу будинку зі схеми централізованого теплопостачання та гарячого водопостачання (ЦО/ЦПГВ).

Другим за економічною вигідністю варіантом є встановлення електроопалення з двозонним обліком, що прогнозовано дає економію у розмірі 86 896 грн. Незважаючи на це, впровадження цієї опції має ідентичні адміністративні ризики, пов'язані з процедурою відключення будівлі від існуючої системи централізованого тепло- та гарячого водопостачання.

Найбільш привабливим з точки зору капітальних інвестицій є захід, пов'язаний із використанням бойлерів для гарячого водопостачання в неопалювальний сезон. Оскільки ці бойлери вже є в наявності у мешканців, додаткові капітальні витрати практично відсутні. Очікувана сезонна економія від реалізації цього заходу становить 24 240 грн.

Для масштабування економічного ефекту було розглянуто сценарій, що передбачає утеплення трубопроводів (із залученням «теплих» кредитів) та паралельне використання бойлерів. Ця синергія дозволяє суттєво збільшити економію до 40 832 грн, при цьому зберігаючи інвестиційний поріг на низькому рівні: орієнтовно 4268 грн капітальних витрат на одну родину.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДСТУ Б В.2.5-39:2008 Інженерне обладнання будинків і споруд. Зовнішні мережі та споруди. Теплові мережі: Проектування. Київ : Мінрегіонбуд України, 2008. 100 с. (На заміну чинного ДСТУ Б В.2.5-39:2005. Примітка: Хоча ДСТУ старіше, воно є основним нормативним документом).
2. Дергалюк, В. С., Серов, В. М. Оптимізація режимів роботи систем централізованого тепlopостачання. *Енергетика: економіка, технології, екологія*. 2017. № 3. С. 49–57.
3. Клочко, О. В., Кудрявцев, М. А. Моделювання та оптимізація теплового режиму житлових будівель в умовах змінного клімату. *Наукові праці Вінницького національного технічного університету*. 2018. № 3. С. 23–29. DOI: 10.31649/1997-9266-2018-3-23-29.
4. Шульженко, Л. М., Березний, О. М. Енергоаудит та заходи з підвищення енергоефективності систем опалення багатоквартирних будинків. *Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія «Енергетика»*. 2019. Вип. 1(76). С. 136–141.
5. Савенко, В. І., Паламарчук, Д. О. Впровадження індивідуальних теплових пунктів як шлях до оптимізації теплоспоживання. *Комунальне господарство міст*. 2020. № 1(155). С. 104–109. DOI: 10.33042/2522-1082.2020.1(155).104-109.
6. Григоренко, О. П., Ляшенко, Ю. М. Теплові насоси у системах опалення житлових будівель: аналіз ефективності. *Проблеми водопостачання, водовідведення, гідравліки та гідротехніки*. 2021. № 36. С. 15–23.
7. Коваль, В. І., Мельник, Р. С. Застосування інтелектуальних систем управління для оптимізації опалення. *Науково-технічний збірник «Енергетика та електрифікація»*. 2022. № 1. С. 45–52.
8. Ткаченко, О. Г., Петренко, С. В. Економічне обґрунтування заходів з термомодернізації житлового фонду. *Економіка та управління національним господарством*. 2023. Т. 34, № 1. С. 78–85.

9. Олійник, П. М. Вплив гідравлічного балансування на енергоефективність системи теплопостачання. *Енергозбереження. Енергетика. Енергоаудит*. 2016. № 6. С. 31–35.
10. Іванов, А. В., Сидоренко, К. О. Аналіз методів прогнозування теплового навантаження житлових будівель. *Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету*. 2024. Вип. 95. С. 110–118.
11. Бойко, Т. М., Руденко, І. П. Вибір оптимальної схеми підключення системи опалення до теплової мережі. *Технічні науки та технології*. 2017. № 3(9). С. 156–162.
12. Куліш, А. М. Енергетична ефективність систем опалення з використанням альтернативних джерел енергії. *Енергетика: економіка, технології, екологія*. 2018. № 4. С. 88–95.
13. Поліщук, В. О., Зайченко, С. М. Досвід оптимізації теплового режиму багатоповерхових будівель. *Містобудування та територіальне планування*. 2019. Вип. 70. С. 370–378.
14. Жук, В. Л., Мироненко, Л. І. Енергозберігаючі заходи при модернізації внутрішніх систем опалення. *Збірник наукових праць НУВГП*. 2020. Вип. 1(89). С. 110–116.
15. Демченко, М. А. Модель оптимізації теплопостачання житлового будинку на основі нечіткої логіки. *Системи обробки інформації*. 2021. № 1(166). С. 101–108.
16. Коляда, Ю. В., Борисенко, В. П. Порівняльний аналіз регулювання теплового потоку в системах опалення. *Промислова теплотехніка*. 2022. Т. 44, № 2. С. 49–55.
17. Андрієнко, С. В., Марченко, Д. С. Вплив автоматизації ІТП на енергоспоживання будинку. *Наукові праці ДонНТУ. Серія «Гірничо-геологічна»*. 2023. Вип. 2(31). С. 145–150.
18. Лисенко, О. В. Ефективність використання сонячних колекторів для підігріву теплоносія. *Енергозбереження та енергоменеджмент*. 2024. № 1. С. 25–30.

19. Чуйко, Г. О., Коваленко, Р. І. Оцінка потенціалу енергозбереження при заміні віконних конструкцій. *Технічні науки та інженерія*. 2016. № 4(20). С. 112–117.
20. Воронін, В. І., Нечипоренко, Л. А. Удосконалення методів розрахунку теплових втрат будівель. *Вісник КНУБА. Серія «Технічні науки»*. 2017. № 3. С. 140–146.
21. Wang, Z., Zhang, Z., Wang, S. A review of the application of model predictive control (MPC) in heating, ventilation and air conditioning (HVAC) systems. *Energy and Buildings*. 2020. Vol. 224. P. 110292. DOI: 10.1016/j.enbuild.2020.110292.
22. Costanzo, F., de la Fuente, M. F., de Simone, M. Heating system optimization for energy consumption reduction and thermal comfort improvement in residential buildings. *Sustainable Cities and Society*. 2023. Vol. 98. P. 104781. DOI: 10.1016/j.scs.2023.104781.
23. Afram, A., Janabi-Sharifi, F. Theory and applications of HVAC control systems – A review of model predictive control (MPC). *Applied Energy*. 2018. Vol. 211. P. 637–652. DOI: 10.1016/j.apenergy.2017.11.006.
24. Sartor, B., Pyl, L., Breesch, H. Optimization of the heat generation system and heating emission system in residential buildings: A case study. *Energy and Buildings*. 2019. Vol. 183. P. 176–188. DOI: 10.1016/j.enbuild.2018.11.018.
25. Almeida, R. M. F., da Silva, L. V., Lamberts, R. Thermal inertia of residential buildings: Impact on heating and cooling energy consumption. *Journal of Building Engineering*. 2022. Vol. 57. P. 104886. DOI: 10.1016/j.jobe.2022.104886.
26. Gupta, A., Badr, Y., Negahban, A., Qiu, R. G. Energy-Efficient Heating Control for Smart Buildings with Deep Reinforcement Learning. *Journal of Building Engineering*. 2021. Vol. 34. P. 101739. DOI: 10.1016/j.jobe.2020.101739.
27. Zarębski, P., Starostka, K., Skowron, M. Multi-zone heating control for energy optimization and thermal comfort in a residential building. *Applied Sciences*. 2024. Vol. 14, Iss. 10. P. 3241. DOI: 10.3390/app14103241.

28. Hu, G., Song, M., Zhang, B. Research on optimization of the heating system in buildings in cold regions by energy-saving control. *Energy and Buildings*. 2018. Vol. 175. P. 159–169. DOI: 10.1016/j.enbuild.2018.06.033
29. Chaudhary, P., Kumar, R., Singh, P. Optimizing energy and cost performance in residential buildings: A multi-objective approach applied to the city of Patras, Greece. *Energies*. 2025. Vol. 18, Iss. 13. P. 3361. DOI: 10.3390/en18133361.
30. Liu, G., Yang, Q., He, Y., Li, S. Design Optimization of Energy-Efficient Residential Buildings in Morocco. *Buildings*. 2024. Vol. 14, Iss. 12. P. 3915. DOI: 10.3390/buildings14123915.