

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Факультет автоматизації та енергетики

Кафедра інформаційно-вимірювальних технологій

та енергетичного менеджменту

Ленцик Віталій Васильович

(прізвище, ім'я, по батькові)

УДК 620.9
(індекс)

МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

Дослідження підходів із забезпечення енергоефективності
корпусу №9 ІФНТУНГ шляхом розроблення та впровадження
системи енергетичного менеджменту

(назва роботи)

Енергетичний менеджмент

(назва освітньої програми)

141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

(шифр і назва спеціальності)

Здобувач освітнього ступеня В.В. Ленцик
(підпис, ініціали та прізвище здобувача)

Науковий керівник Рибіцький Ігор Володимирович, д. т. н., професор
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання керівника)

Допущено до захисту

Завідувач кафедри

Цих В.С.
(посада) (підпис) (дата) (ініціали та прізвище)

Рецензент

(посада) (підпис) (дата) (ініціали та прізвище)

Робота містить результати власних досліджень, використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
(повне найменування закладу вищої освіти)

Факультет Автоматизації та енергетики

Кафедра Інформаційно-вимірювальних технологій та енергетичного менеджменту

Освітній рівень Магістр

Спеціаліст 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри інформаційно-вимірювальних технологій та енергетичного менеджменту

В. С. Цих

« » _____ 2025 року

**ЗАВДАННЯ
НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ**

Ленцику Віталію Васильовичу

(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема роботи Дослідження підходів із забезпечення енергоефективності корпусу №9 ІФНТУНГ шляхом розроблення та впровадження системи енергетичного менеджменту

керівник роботи Рибіцький Ігор Володимирович, д. т. н., професор
(прізвище, ім'я, по-батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ІФНТУНГ від «14» листопада 2025 року № 719/7

2. Строк подання роботи студентом 16 грудня 2025 року

3. Вихідні дані до роботи: енергетичний менеджмент, методика проведення енергетичного аудиту

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (питання, які потрібно розробити)

Вступ

1. Огляд нормативно-стандартної бази та теоретичних підходів до організації систем енергетичного менеджменту в будівлях

2. Обстеження будівлі корпусу №9 ІФНТУНГ

3. Комплексний аналіз енергетичної ефективності будівлі корпусу №9 ІФНТУНГ та удосконалення системи енергетичного менеджменту

Висновки

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
<i>Нормоконтролер</i>	<i>доцент Яворський А.В.</i>		
<i>Перевірка на плагіат</i>	<i>доцент Миндюк В.Д.</i>		

7. Дата видачі завдання 14.11.2025

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Пошук, огляд та опрацювання літературних джерел та матеріалів	14.11.2025-18.11.2025	
2	Обстеження будівлі корпусу №9	19.11.2025-29.11.2025	
3	Аналіз енергетичної ефективності будівлі корпусу №9	30.11.2025-08.12.2025	
4	Розроблення сценарію удосконалення системи енергетичного менеджменту	09.12.2025-13.12.2025	
5	Оформлення магістерської роботи	14.12.2025-16.12.2025	

Студент _____
(підпис)

Ленцик В.В.
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____
(підпис)

Рибіцький І.В.
(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Магістерська робота містить 68 сторінок, 28 рисунків, 12 таблиць, 4 діаграми, 25 джерел.

Дослідження підходів із забезпечення енергоефективності корпусу №9 ІФНТУНГ шляхом розроблення та впровадження системи енергетичного менеджменту.

Об'єктом магістерської роботи є процес енергоспоживання будівлі корпусу №9 Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу.

Предметом дослідження є методи, засоби та організаційні підходи до підвищення енергетичної ефективності будівлі шляхом удосконалення системи енергетичного менеджменту відповідно до вимог міжнародних стандартів.

У магістерській роботі виконано огляд нормативно-стандартної бази у сфері енергоефективності будівель, зокрема проаналізовано вимоги стандартів серії ISO 50000 та їх взаємозв'язок з європейськими директивами з енергоефективності. Проведено комплексне обстеження будівлі корпусу №9 ІФНТУНГ, включаючи аналіз огорожувальних конструкцій, систем опалення, вентиляції та освітлення.

На основі отриманих даних виконано розрахунок тепловтрат через огорожувальні конструкції, визначені потрібні заходи з покращення енергетичної ефективності на основі розрахунку їх вартості та терміну окупності. Сформовано базовий енергетичний профіль будівлі та визначено ключові показники енергетичної результативності.

Розроблено сценарій покращення системи енергетичного менеджменту будівлі корпусу №9 відповідно до стандарту ISO 50001, який включає організаційні та технічні заходи з підвищення енергоефективності. Запропоновано комплекс енергоефективних заходів та виконано оцінку їх економічної доцільності.

Отримані результати можуть бути використані для практичного впровадження системи енергетичного менеджменту в будівлях закладів вищої освіти та масштабування запропонованого підходу на інші об'єкти університету.

СИСТЕМА ЕНЕРГЕТИЧНОГО МЕНЕДЖМЕНТУ, ЕНЕРГЕТИЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ, ЕНЕРГЕТИЧНИЙ АУДИТ, ТЕПЛОВТРАТИ

ABSTRACT

The master's thesis contains 68 pages, 28 figures, 12 tables, 4 references, and 25 appendices.

Research into approaches to ensuring the energy efficiency of building No. 9 at IFNTUOG through the development and implementation of an energy management system.

The object of the master's thesis is the energy consumption process of building No. 9 of the Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas.

The object of the study is methods, means, and organizational approaches to improving the energy efficiency of buildings by improving the energy management system in accordance with international standards.

The master's thesis provides an overview of the regulatory and standards framework in the field of energy efficiency of buildings, in particular, it analyzes the requirements of the ISO 50000 series of standards and their relationship with European directives on energy efficiency. A comprehensive survey of building No. 9 of IFNTUOG was conducted, including an analysis of the building envelope, heating, ventilation, and lighting systems.

Based on the data obtained, heat loss through the building envelope was calculated, and the necessary measures to improve energy efficiency were determined based on the calculation of their cost and payback period. A basic energy profile of the building was formed and key energy performance indicators were determined.

A scenario for improving the energy management system of building No. 9 in accordance with the ISO 50001 standard was developed, which includes organizational and technical measures to improve energy efficiency. A set of energy efficiency measures has been proposed and their economic feasibility has been assessed.

The results obtained can be used for the practical implementation of an energy management system in higher education buildings and the scaling up of the proposed measures.

ENERGY MANAGEMENT SYSTEM, ENERGY EFFICIENCY, ENERGY
AUDIT, HEAT LOSS

ЗМІСТ

ВСТУП	9
РОЗДІЛ 1 ОГЛЯД НОРМАТИВНО-СТАНДАРТНОЇ БАЗИ ТА ТЕОРЕТИЧНИХ ПІДХОДІВ ДО ОРГАНІЗАЦІЇ СИСТЕМ ЕНЕРГЕТИЧНОГО МЕНЕДЖМЕНТУ В БУДІВЛЯХ	12
1.1. Нормативна база України у сфері енергоефективності будівель...	13
1.2. Роль міжнародних стандартів у контексті європейських директив з енергоефективності та їх значення для розвитку енергетичного менеджменту будівель в Україні.....	16
РОЗДІЛ 2 ОБСТЕЖЕННЯ БУДІВЛІ КОРПУСУ №9 ІФНТУНГ	21
2.1 Загальний опис будівлі.....	21
2.2 Перелік обладнання для проведення інструментальних обстежень.....	27
2.3 Обстеження огороджувальних конструкцій будівлі.....	31
РОЗДІЛ 3 КОМПЛЕКСНИЙ АНАЛІЗ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ БУДІВЛІ КОРПУСУ №9 ІФНТУНГ ТА УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ЕНЕРГЕТИЧНОГО МЕНЕДЖМЕНТУ	50
3.1 Методологічні засади оцінки енергетичної ефективності будівлі...	50
3.2 Розрахунок тепловтрат через огороджувальні конструкції будівлі.....	51
3.3 Заходи з покращення енергоефективності будівлі.....	53
3.4 Удосконалення системи енергетичного менеджменту будівлі.....	59
ВИСНОВКИ	63
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	67

ВСТУП

У сучасних умовах зростання вартості паливно-енергетичних ресурсів, обмеженості енергетичних запасів та необхідності зниження негативного впливу на довкілля питання підвищення енергетичної ефективності будівель набуває особливої актуальності. Значна частина існуючого фонду громадських будівель в Україні, зокрема будівлі закладів вищої освіти, була зведена у період масового типового будівництва та не відповідає сучасним вимогам щодо енергоефективності, теплового захисту та раціонального використання енергетичних ресурсів.

Одним із ключових напрямів реалізації державної політики у сфері енергозбереження є впровадження системного підходу до управління енергоспоживанням, що передбачає не лише реалізацію окремих технічних заходів, але й створення та функціонування системи енергетичного менеджменту. Такий підхід відповідає вимогам міжнародних стандартів серії ISO 50000 та дозволяє забезпечити безперервне вдосконалення енергетичних показників об'єктів шляхом планування, моніторингу, аналізу та коригування процесів енергоспоживання.

Корпус №9 Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу є типовою навчальною будівлею з характерними для таких об'єктів проблемами підвищених тепловтрат, морально та фізично застарілих інженерних систем, а також відсутності системного контролю за споживанням паливно-енергетичних ресурсів. Це зумовлює доцільність проведення комплексного дослідження, спрямованого на оцінку поточного енергетичного стану будівлі та розроблення ефективних підходів до підвищення її енергоефективності шляхом впровадження системи енергетичного менеджменту.

Актуальність теми

Актуальність роботи зумовлена необхідністю зниження енергоспоживання та експлуатаційних витрат будівель навчальних закладів, підвищення енергетичної безпеки, а також виконання вимог національних і міжнародних нормативних документів у сфері енергоефективності. Впровадження системи енергетичного менеджменту для окремого корпусу закладу вищої освіти дозволяє не лише досягти економії енергоресурсів, але й створити основу для масштабування такого підходу на інші будівлі університету.

Мета і завдання дослідження

Метою роботи є дослідження підходів до забезпечення енергетичної ефективності будівлі корпусу №9 ІФНТУНГ шляхом розроблення сценаріїв з удосконалення системи енергетичного менеджменту та її впровадження.

Для досягнення поставленої мети в роботі необхідно вирішити такі завдання:

- проаналізувати нормативно-правову базу та сучасні підходи до підвищення енергоефективності будівель;
- виконати енергетичний аналіз будівлі корпусу №9 ІФНТУНГ та визначити основні джерела тепловтрат;
- оцінити теплотехнічні характеристики огороджувальних конструкцій будівлі;
- розробити комплекс технічних і організаційних заходів з підвищення енергоефективності;
- оцінити очікувану енергетичну та економічну ефективність запропонованих рішень.

Об'єкт і предмет дослідження

Об'єктом дослідження є процес енергоспоживання будівлі корпусу №9 Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу.

Предметом дослідження є методи, засоби та організаційні підходи до підвищення енергетичної ефективності будівлі шляхом покращення системи енергетичного менеджменту.

Методи дослідження

У роботі використано такі методи дослідження: аналіз нормативної та науково-технічної літератури, розрахункові методи теплотехнічного аналізу, енергетичний аудит будівель, методи порівняльного аналізу, елементи економічного обґрунтування та методологія системи енергетичного менеджменту відповідно до міжнародних стандартів.

Наукова новизна та практичне значення

Наукова новизна роботи полягає у застосуванні системного підходу до підвищення енергетичної ефективності окремого корпусу закладу вищої освіти шляхом інтеграції результатів енергетичного аналізу в структуру системи енергетичного менеджменту.

Практичне значення отриманих результатів полягає у можливості використання запропонованих рішень та рекомендацій для реального впровадження системи енергетичного менеджменту в будівлі корпусі №9 ІФНТУНГ, а також для подальшого впровадження аналогічних підходів в інших будівлях університету.

РОЗДІЛ 1

ОГЛЯД НОРМАТИВНО-СТАНДАРТНОЇ БАЗИ ТА ТЕОРЕТИЧНИХ ПІДХОДІВ ДО ОРГАНІЗАЦІЇ СИСТЕМ ЕНЕРГЕТИЧНОГО МЕНЕДЖМЕНТУ В БУДІВЛЯХ

Енергетична ефективність будівель сьогодні є одним з ключових напрямів сталого розвитку, оскільки саме експлуатація будівель становить значну частку загального енергоспоживання у міському середовищі. Для закладів вищої освіти питання енергоефективності має особливе значення: будівлі університетів є великими за площею, мають складні інженерні системи та тривалий період експлуатації, що потребує адаптації до сучасних вимог енергозбереження. Водночас реалізація будь-яких заходів щодо підвищення енергоефективності неможлива без наявності чіткої методологічної основи, що регламентує принципи вимірювання, аналізу, моніторингу та управління енергоспоживанням. Саме стандарти серії ISO 50000 забезпечують таку методологічну базу та формують комплексний підхід до створення систем енергетичного менеджменту [1], [2].

Україна гармонізувала ці стандарти у вигляді ДСТУ, що дозволяє організаціям впроваджувати найкращі практики ЄС у галузі енергоефективності. Особливо значущими є стандарти ДСТУ ISO 50006:2016, ДСТУ ISO 50002:2016 та ДСТУ ISO 50015:2016, які забезпечують методи проведення енергетичного аудиту, формування показників результативності та організації моніторингу у рамках системи енергоменеджменту. У поєднанні з ДСТУ ISO 50001 та іншими додатковими стандартами вони утворюють структуровану систему, яка може бути застосована для підвищення енергоефективності будівлі корпусу №9 ІФНТУНГ [7].

1.1 Нормативна база України у сфері енергоефективності будівель

В Україні питання енергоефективності регулюються низкою ДБН:

- ДБН В.2.6-31:2021 «Теплова ізоляція будівель» – встановлює обов’язкові вимоги до термозахисту будівель [12];
- ДБН В.2.6-33:2018 «Конструкції зовнішніх стін» – визначає теплотехнічні характеристики огорожувальних конструкцій [13];
- ДБН В.2.5-67:2013 «Опалення, вентиляція та кондиціонування» – описує вимоги до інженерних систем [14];
- ДБН В.2.5-28:2006 «Природне та штучне освітлення» – встановлює норми освітлення та дозволяє оцінити потенціал модернізації систем освітлення [15];

Для будівлі корпусу №9 ці нормативи будуть важливою частиною обґрунтування запропонованих заходів.

Стандарт ДСТУ ISO 50006:2016 як основа формування енергетичних показників результативності

Стандарт ДСТУ ISO 50006:2016 регламентує загальні принципи побудови та застосування показників енергетичної результативності та енергетичних базових ліній. Цей документ є надзвичайно важливим у структурі енергетичного менеджменту, адже саме формування правильних показників дозволяє оцінювати реальні зміни в енергоефективності будівлі [8].

Основна ідея стандарту полягає в тому, що енергоспоживання об’єкта не може розглядатися у відриві від факторів, які на нього впливають. Будівлі освітніх установ, таких як корпуси університетів, мають виражену залежність від зовнішньої температури, режиму роботи, кількості користувачів, використання лабораторного обладнання, графіка навчального процесу. Тому ISO 50006 містить методики корекції та нормалізації енергетичних показників, що дозволяє отримати реальну картину енергетичної результативності.

У стандарті приділено значну увагу питанню створення енергетичної базової лінії. Базова лінія – це модель, яка відображає типовий рівень енергоспоживання в конкретних умовах. При цьому стандарт допускає як прості лінійні залежності (наприклад, від градусо-днів опалення), так і складні багатофакторні моделі, що враховують інтенсивність використання приміщень, кількість обладнання, сезонні коливання.

Особливо важливо, що стандарт пропонує підходи до валідації зібраних даних, що унеможлиблює використання некоректної статистики при формуванні висновків. Для будівлі корпусу №9 ІФНТУНГ такий підхід дозволить побудувати точні моделі енергоспоживання, що стануть основою для подальших розрахунків ефективності запропонованих заходів.

Стандарт ДСТУ ISO 50002:2016 як інструмент проведення енергетичного аудиту будівель

Стандарт ДСТУ ISO 50002:2016 встановлює уніфіковану методику проведення енергетичних аудитів для будівель та організацій. Він визначає структуру аудиту, вимоги до збору та аналізу даних, а також порядок підготовки рекомендацій щодо енергоефективності [9].

Для будівельної сфери стандарт є особливо важливим, тому що він формує системний підхід до визначення тепловтрат, нераціональних режимів роботи обладнання, неефективних процесів або конструкційних недоліків. На відміну від національних методик минулого, ISO 50002 передбачає не лише аналіз проектної документації, але й широке застосування інструментальних методів – тепловізійної діагностики, вимірювання параметрів мікроклімату, аналізу роботи вентиляційних систем, моніторингу параметрів електроспоживання.

Документ класифікує види енергоаудитів на попередній, детальний та спеціалізований. Для будівлі корпусу №9 ІФНТУНГ найбільш релевантним є детальний аудит, що передбачає всебічні вимірювання і дозволяє встановити комплекс причин надмірного енергоспоживання.

ISO 50002 також встановлює вимоги щодо економічної оцінки запропонованих заходів, включаючи розрахунок строку окупності, чистої приведеної вартості, внутрішньої норми рентабельності. Таким чином, стандарт забезпечує не лише технічну, а й економічну обґрунтованість рішень у сфері енергоефективності.

Стандарт ДСТУ ISO 50015:2016 як основа моніторингу та оцінювання енергетичних результатів

Стандарт ДСТУ ISO 50015:2016 регламентує процеси моніторингу та оцінювання енергетичної результативності організації в рамках системи енергетичного менеджменту. Якщо ISO 50006 визначає, що саме вимірювати, то ISO 50015 описує процес того, як це робити [10].

Особливу увагу у документі приділено якості даних: точності, повторюваності, достовірності та їх пристосованості до аналізу. Стандарт містить вимоги до вибору вимірювальних засобів, правил ведення обліку, частоти зняття даних, перевірки їх актуальності. Університетські будівлі, які мають складні графіки роботи та різну інтенсивність використання, потребують саме такого підходу – чіткої, структурованої системи моніторингу.

Також стандарт висвітлює питання управління невизначеністю, що є важливим при оцінюванні впливу зовнішніх факторів на енергоспоживання. В умовах змінного клімату та широкого спектра поведінкових моделей споживачів, таке управління дозволяє уникати хибних висновків.

Стандарт ISO 50001:2018 – фундамент систем енергетичного менеджменту

ISO 50001 є базовим стандартом, який визначає вимоги до створення, впровадження та функціонування системи енергетичного менеджменту. Він задає рамки політики енергоменеджменту, визначає ролі відповідальних осіб, описує циклічні процеси PDCA (планування → виконання → перевірка → дія).

Для будівель університетів впровадження ISO 50001 дозволяє забезпечити сталість та безперервність процесу управління енергоспоживанням шляхом формування чітких процедур з моніторингу, аналізу, звітності та реалізації заходів [6].

Стандарт ISO 50003 – вимоги до аудиторів енергоменеджменту

ISO 50003 встановлює вимоги до компетентності осіб, які проводять аудит систем енергетичного менеджменту ISO 50001. Хоча стандарт не є інженерним, він визначає якість аудиту, який отримує організація. У контексті ІФНТУНГ цей документ визначає вимоги до залучених експертів, якщо система енергоменеджменту впроваджуватиметься офіційно [11].

1.2 Роль міжнародних стандартів у контексті європейських директив з енергоефективності та їх значення для розвитку енергетичного менеджменту будівель в Україні

У процесі інтеграції України до Європейського Союзу питання енергоефективності будівель набуває особливої ваги, оскільки є одним із ключових напрямів виконання міжнародних зобов'язань та адаптації національного законодавства до європейських норм. Європейський Союз упродовж останніх десятиліть формує системний підхід до зниження енергоспоживання, підвищення ефективності будівель і зменшення викидів парникових газів, що відображено в низці нормативних документів, серед яких найбільш значущими є Директива 2012/27/ЄС про енергоефективність та Директива 2010/31/ЄС про енергетичну ефективність будівель. Ці документи встановлюють принципи, які сьогодні визначають політику України у сфері енергетичного менеджменту та модернізації будівель державного сектору, включно з університетами, школами та адміністративними установами [17], [18].

Директива 2012/27/ЄС вимагає від держав-членів забезпечення регулярного проведення енергетичних аудитів, упровадження систем моніторингу енергоспоживання, реконструкції будівель бюджетної сфери, зменшення втрат у системах теплопостачання та досягнення національних показників енергозбереження. Україна, наближаючи своє законодавство до вимог ЄС, взяла зобов'язання модернізувати публічні будівлі, оптимізувати споживання енергоресурсів та впроваджувати енергетичний менеджмент на інституційному рівні. Директива 2010/31/ЄС, своєю чергою, встановлює вимоги щодо забезпечення належного рівня енергетичної ефективності будівель, сертифікації їх енергетичних характеристик, визначення класів енергоефективності та поступового переходу до будівель з майже нульовим споживанням енергії. З огляду на це, модернізація будівлі корпусу №9 ІФНТУНГ потребує комплексного підходу, заснованого як на законодавчих вимогах, так і на міжнародних методологічних стандартах, що забезпечують точність і системність усіх етапів енергетичного менеджменту [17], [18].

У цьому контексті стандарти ISO 50006, ISO 50002 та ISO 50015 формують практичну основу для виконання вимог європейських директив. Хоча директиви задають стратегічні цілі та обов'язкові норми, вони не містять детальних методичних інструкцій щодо проведення аудиту чи моніторингу. Саме стандарти ISO заповнюють цю прогалину, пропонуючи універсальні й водночас гнучкі алгоритми впровадження енергетичного менеджменту. Зокрема, ISO 50002 фактично забезпечує виконання вимоги директиви про проведення якісних енергетичних аудитів. Стандарт визначає чітку логіку здійснення аудиту, порядок збору даних, аналіз інженерних систем будівлі, визначення потенціалу енергозбереження та формування пакету заходів. Аудит, виконаний відповідно до ISO 50002, є технічно обґрунтованим і відповідає принципам, на яких ґрунтується європейська нормативна база щодо оцінювання енергетичної ефективності будівель [3].

Стандарт ISO 50006 відіграє ключову роль у визначенні енергетичних показників та формуванні базових рівнів, необхідних для вимірювання прогресу. Європейські директиви вимагають від держав і організацій систематичного

моніторингу та аналізу змін енергоспоживання, однак не описують методики коригування даних на зовнішні фактори. У реальних умовах споживання енергії залежить не лише від стану будівлі, але й від погодних умов, режиму використання, інтенсивності експлуатації та інших змінних. ISO 50006 пропонує інструментарій, що дозволяє враховувати ці впливи, коректно порівнювати різні періоди та визначати реальний ефект від проведених модернізаційних заходів. Завдяки цьому можна об'єктивно встановити, наскільки термомодернізація чи оптимізація роботи систем опалення впливають на зменшення енергоспоживання будівлі корпусу.

ISO 50015 забезпечує завершальний етап процесу енергетичного менеджменту – вимірювання, моніторинг та верифікацію результатів. Директива 2012/27/ЄС наголошує на необхідності прозорого підтвердження економії енергоресурсів, особливо в будівлях, де заходи фінансуються з державного бюджету або мають залучати інвестиції. Стандарт ISO 50015 визначає процедури збору та аналізу даних, документування, перевірки достовірності та оцінювання впливу конкретних заходів. Це дозволяє виключити можливість неточностей або маніпуляцій, а також забезпечує повну відповідність результатів міжнародним вимогам щодо прозорості та відтворюваності даних.

Поєднання директив ЄС із міжнародними стандартами ISO створює комплексну систему, яка охоплює всі етапи управління енергоспоживанням у будівлях – від первинної оцінки стану й визначення реальних потреб до моніторингу та аналізу досягнутих результатів. Для українських університетів така система є надзвичайно цінною, оскільки дозволяє проводити енергоменеджмент за найкращими міжнародними практиками та відповідати нормам, що діють на території ЄС. Корпус №9 ІФНТУНГ, як об'єкт бюджетної сфери, може отримати значні переваги від застосування такої методології: підвищення ефективності використання енергоресурсів, прозоре планування модернізації, оптимізація витрат та покращення умов для студентів і персоналу.

У результаті стандарти ISO 50006, ISO 50002 та ISO 50015 не лише доповнюють вимоги європейських директив, а й роблять їх практично здійсненними. Їхнє застосування у сфері енергетичного менеджменту будівель

державного сектору дозволяє Україні рухатися в напрямку європейської інтеграції, модернізації бюджетних установ та підвищення стійкості енергетичної інфраструктури. Для об'єктів на кшталт корпусу №9 ІФНТУНГ вони формують фундамент для створення ефективної, прозорої та результативної системи управління енергоресурсами, яка відповідає сучасним міжнародним вимогам і сприяє сталому розвитку закладу [4], [5].

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 1

У результаті проведеного огляду нормативно-стандартної бази встановлено, що міжнародні стандарти серії ISO 50000 формують цілісну методологічну основу для впровадження систем енергетичного менеджменту у будівлях. Стандарти ДСТУ ISO 50002, 50006 та 50015 забезпечують взаємопов'язані процеси енергетичного аудиту, формування показників результативності та організації моніторингу. Їх застосування дозволяє проводити глибокий аналіз енергоспоживання, визначати фактори впливу, оцінювати ефективність запропонованих заходів та забезпечувати їх довгостроковий контроль.

Доповнення цих стандартів вимогами ISO 50001 та ISO 50003 дає змогу створити комплексну систему управління енергетичними ресурсами на основі циклічних процесів та професійного аудиту. Національні будівельні норми та європейські директиви доповнюють міжнародні стандарти, встановлюючи технічні та організаційні вимоги до енергоефективності будівель.

У сукупності це створює достатню методологічну базу для науково обгрунтованого дослідження енергоефективності корпусу №9 ІФНТУНГ та покращення системи енергетичного менеджменту, адаптованої до його технічних умов та потреб університету.

РОЗДІЛ 2

ОБСТЕЖЕННЯ БУДІВЛІ КОРПУСУ №9 ІФНТУНГ

2.1 Загальний опис будівлі

Будівля 9-го навчального корпусу ІФНТУНГу розміщена по вул.Карпатська 15 у м. Івано-Франківськ.

Загальний вигляд розміщення території корпусу наведено на наступному рисунку 2.1. На рисунку 2.1 наведена будівля, яка підлягає енергетичному аудиту.



Рисунок 2.1 – Загальний вигляд території корпусу, наведена будівля, яка підлягає енергетичному аудиту

Загальний вигляд будівлі 9-го навчального корпусу ІФНТУНГ наведено на рисунку 2.2.



Рисунок 2.2 – Загальний вигляд будівлі 9-го навчального корпусу
ІФНТУНГ

Будівля 9-го навчального корпусу введені в експлуатацію в 1974 році. Частина будівлі корпусу була капітально ремонтванна в 2017 році.

Будівля котельні складається з двох навальних поверхів, з двох проходів між корпусами, та даховою котельнею, яка забезпечує опаленням три навчальні корпуси – №9, №5 та №4.

Крім навчальних приміщень в будівлі корпусу розміщується, дахова котельня допоміжні технічні приміщення, щитові управління, майстерні, санвузли та ін. Усі навчальні приміщення будівлі опалювані. Кафедра електро менеджменту та технічні діагностики утеплена.

В таблиці 2.1 наведена загальна інформація відповідно по будівлі корпусу №9.

Таблиця 2.1 – Загальні дані по будівлі корпусу №9

Назва будівлі	Будівля корпусу №9
Тип будівлі	Заклад освіти
Рік будівництва	1973
У постійній експлуатації	1974
Дата останнього ремонту / реконструкції (рік)	-
Загальна площа основи будівлі (м ²)	1800
Кількість поверхів	3

Таблиця 2.2 – Загальний технічний опис та оцінка господарських будівель

Опис основних конструктивних елементів						Інженерне обладнання					Висота, м	Площа основи	Об'єм, м ³
фундамент	стіни	покрівля	перекриття	підлога	сходи	електрика	водопровід	каналізація	газопровід	вид оп.			
бетон	цегла	шифер	залізні панелі	бетон	бетон	так	так	так		водяне	6,7	2125,8	14250

Загальний технічний опис та оцінка будівель наведені на наступному рисунку 2.3 (дані отримано від замовника робіт).

ХАРАКТЕРИСТИКА БУДИНКУ, ДОПОМІЖНИХ БУДІВЕЛЬ ТА СПОРУД

Літер	Назва об'єкта	Рік побудови	Опис основних конструктивних елементів					Інженерне обладнання							Висота (м)	Площа основи (забудови) (кв. м.)	Об'єм (куб. м.)	Вартість замовлення (грн.)	% зносу	Інтегральна вартість (грн.)
			фундамент	стіни	покрівля	перекриття	підлога	сходи	електрика	водопровід	каналізація	газопровід	вид опалення							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
Г	навчальний корпус №9		бетон	цегла	шифер	з/панелі	бетон	бетонні	так	так	так		водяне	6.70	2125.8	14250				

Рисунок 2.3 – Загальний технічний опис та оцінка будівлі

На рисунку 2.4 наведено загальний план будівлі із вказанням зовнішніх геометричних розмірів та висот в частинах будівлі.



Рисунок 2.4 – План будівлі навчального корпусу

Далі на наступних рисунках 2.5 – 2.6 наведені фрагменти планів будівлі корпусу.

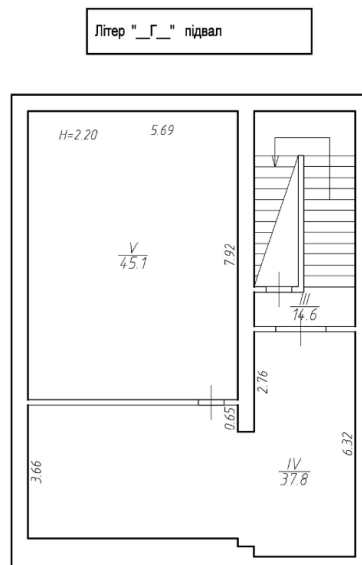


Рисунок 2.5 – Фрагмент плану будівлі 9-го навчального корпусу

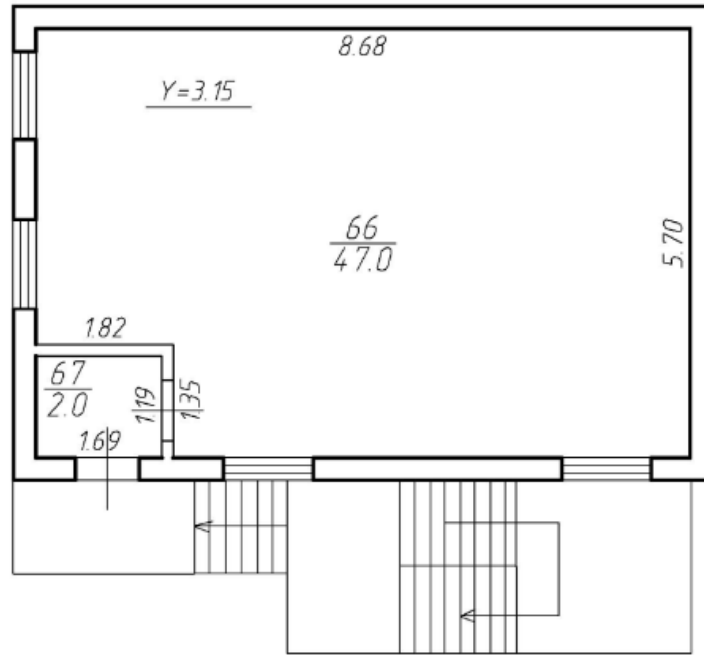


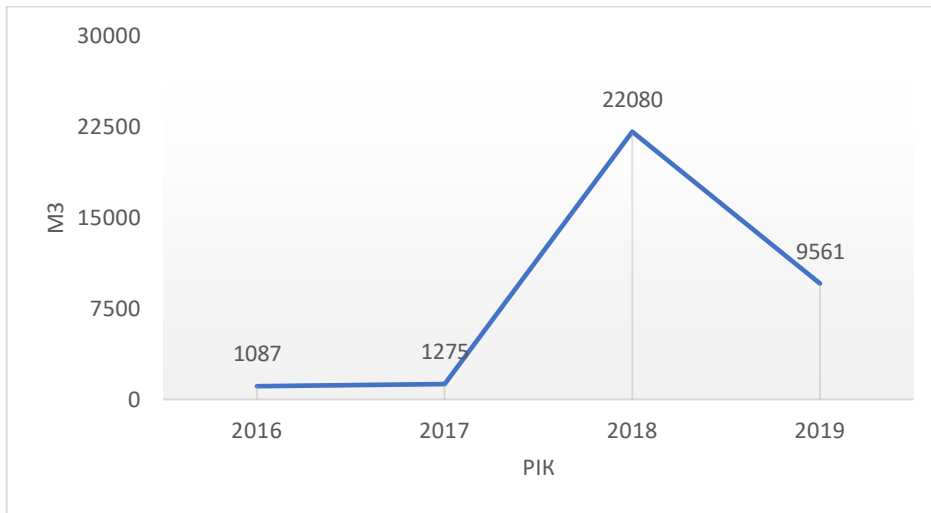
Рисунок 2.6 – Фрагмент плану будівлі 9-го навчального корпусу

Інформація щодо споживання паливно-енергетичних ресурсів

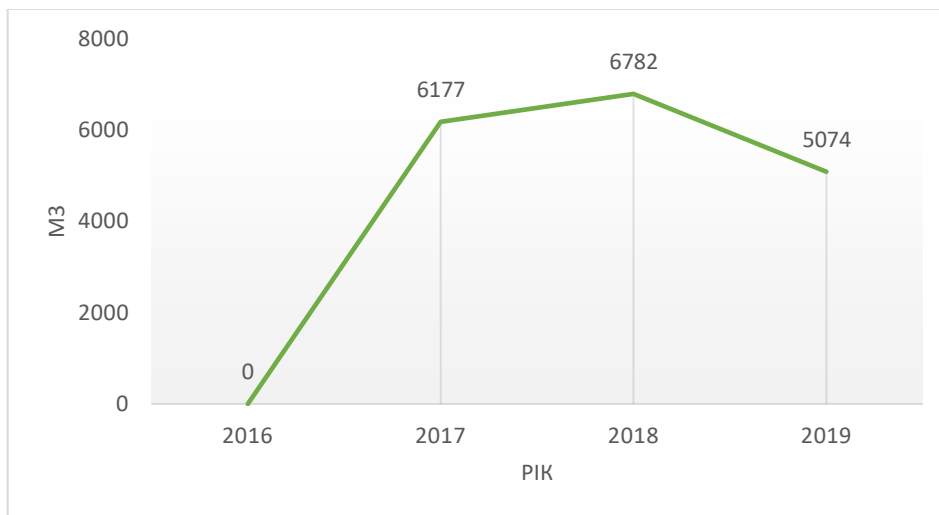
В таблиці 2.3 наведена довідка щодо роботи та споживання паливно-енергетичних ресурсів корпусу №9. На діаграмах 2.1 – 2.3 можна спостерігати динаміку змін споживання паливно-енергетичних ресурсів.

Таблиця 2.3 – Споживання паливно-енергетичних ресурсів корпусом №9

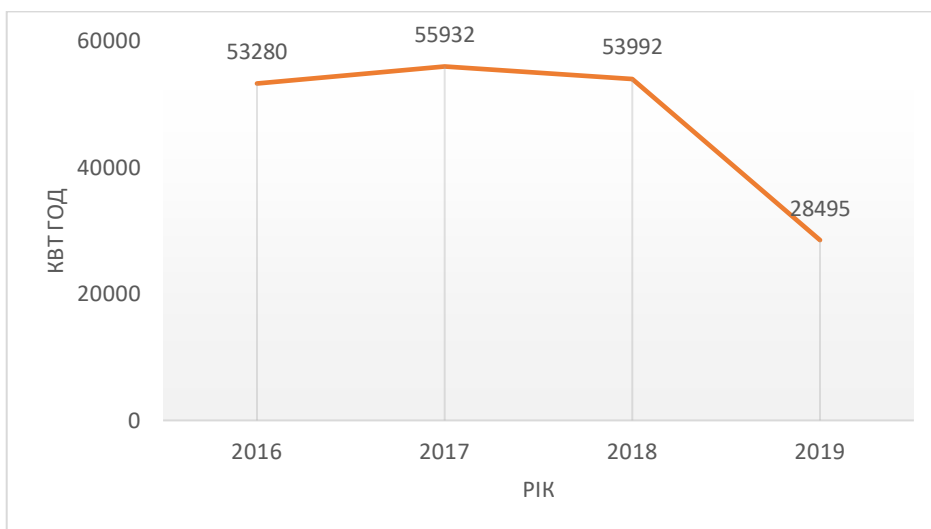
Найменування ПЕР	Рік			
	2016	2017	2018	2019
Природний газ, м ³	1087	1275	22080	9561
Вода, м ³	0	6177	6782	5074
Електроенергія, кВт · год	53280	55932	53992	28495



Діаграма 2.1 – Графік споживання природного газу



Діаграма 2.2 – Графік споживання води



Діаграма 2.3 – Графік споживання електроенергії

2.2 Перелік обладнання для проведення інструментальних обстежень

Для проведення загального та інструментального обстежень огорожувальних конструкцій будівлі були використані наступні прилади:

- Тепловізор FLUKE Ti25 – використовується для оцінка теплоізоляційних властивостей огорожувальних конструкцій будівель і споруд, енергетичних втрат технологічного обладнання за розподілом температурного поля. Діапазон вимірювань: $-20 \dots +350$ °C. Похибка: ± 5 °C.



Рисунок 2.7 – Тепловізор FLUKE Ti25

- Інфрачервоний пірометр FLUKE 574 Raytek raynger st – використовується для вимірювання температури у важкодоступних і небезпечних місцях, для віддалених об'єктів. Діапазон вимірювань: $-30 \dots +900$ °C. Похибка: $\pm 0,75$ °C.



Рисунок 2.8 – Інфрачервоний пірометр FLUKE 574 Raytek raynger st

- Вимірювач вологості і температури FLUKE 971 – використовується для контролю температури і вологості повітря при оцінці ефективності опалення, кондиціонування і вентиляції. Діапазон вимірювань вологості: 5...95 %. Діапазон вимірювань температури: – 20 ... + 60 °С. Похибка вологості: $\pm 2,5$ %. Похибка температури: $\pm 0,5$ °С.



Рисунок 2.9 – Вимірювач вологості і температури FLUKE 971

- Термоанемометр АТТ-1004 – використовується для вимірювання швидкості малоплинних потоків повітря і температури. Діапазон вимірювань швидкості потоку: 0,5 ... 20,0 м/с. Діапазон вимірювань

температури: + 5 ... + 50 °С. Похибка швидкості потоку: ± 0,2 м/с.
Похибка температури: ± 0,1 °С.



Рисунок 2.10 – Термоанемометр АТТ-1004

- Крильчатий анемометр Eurotron Mini Air Pro LV-50 – використовується для вимірювання швидкості швидкоплинних потоків повітря і температури.



Рисунок 2.11 – Крильчатий анемометр Eurotron Mini Air Pro LV-50

- Люксметр DE 3350 – використовується для вимірювання освітленості. Діапазон вимірювань: 0,1 ... 200 лк з похибкою ± 4 %; 2000 – 20000 лк з похибкою 5 %.



Рисунок 2.12 – Люксметр DE 3350

- Лазерний далекомір Leica Disto A5 – використовується для вимірювання геометричних розмірів об'єкту, відстаней для прив'язки на місцевості. Діапазон вимірювань: 0,05 ... 100 м. Похибка: $\pm 1,5$ мм.



Рисунок 2.13 – Лазерний далекомір Leica Disto A5

- Аналізатор якості повітря SEM DT-802 – використовується для визначення рівня температури, вологості і концентрації CO₂ в приміщенні.

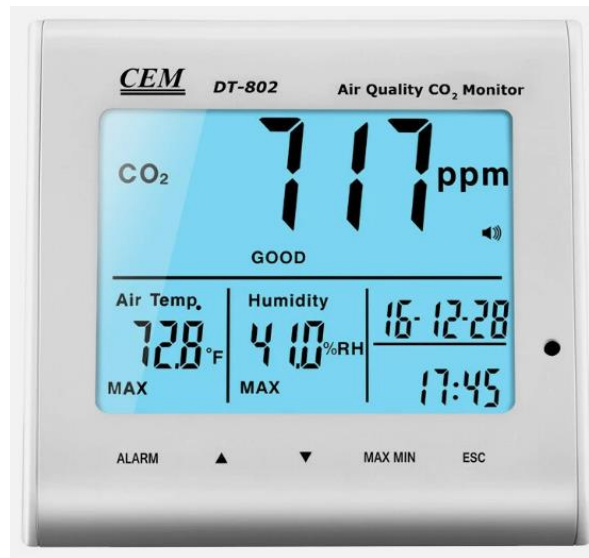


Рисунок 2.14 – Аналізатор якості повітря CEM DT-802

2.3 Обстеження огорджувальних конструкцій будівлі

В процесі енергетичного аудиту було проведено спочатку візуальний огляд, а потім інструментальне обстеження геометричних та теплотехнічних параметрів огорджувальних конструкцій будівлі. Результати обстеження подано нижче.

**Геометричні та теплотехнічні характеристики огорожувальних
конструкцій будівлі корпусу №9**

Таблиця 2.4 – Площі фасадів корпусу №9

Орієнтація	Площа фасаду, м ²	Вікна, м ²	Пластикові вікна, м ²	Дерев'яні вікна, м ²	Двері, м ²	Металеві двері, м ²	Дерев'яні двері, м ²	Стіни, м ²	Утеплені стіни, м ²	Неутеплені стіни, м ²
Північ	564	89	40	49	21	4	17	446	80	366
Південь	564	156	141	15	0	0	0	408	59	349
Схід	252	92	92	0	0	0	0	160	160	0
Захід	252	92	4	88	0	0	0	160	0	160

Обстеження стін

Стіни будівлі перебувають в задовільному стані (рисунок 2.15 – 2.16). Більша частина стін будівлі складається з залізобетонних панелей. В таблиці 2.6 наведена загальна інформація по стінах будівлі. В таблиці 2.7 показано поділ площ стін за орієнтаціями відносно сторін горизонту та з поділом за типами.

Таблиця 2.5 – Загальна інформація по стінах будівлі навчального корпусу.

Загальна площа, м ²	1174	Опір теплопередачі (середнє значення), м ² · °С / Вт	1
Неутеплена стіна	залізобетонні панелі товщиною 250 мм (густина – 2500 кг/м ³), розчин цементнопіщаний внутрішній товщиною 50 мм (густина – 1600 кг/м ³).		
Утеплена стіна	залізобетонні панелі товщиною 250 мм (густина – 2500 кг/м ³), розчин цементно-піщаний внутрішній товщиною 25 мм (густина - 1600 кг/м ³), утеплення пінополістирол товщиною 100 мм (густина - 16 кг/м ³), розчин цементно-піщаний зовнішній товщиною 25 мм (густина - 1600 кг/м ³)		

Таблиця 2.6 – Характеристики стін будівлі за сторонами світу

Орієнтація	Пн	Пд	Сх	Зх	Всього
Загальна площа, м ²	446	408	160	160	1174
Неутеплена стіна	366	349	0	160	875
Утеплена стіна	80	59	160	0	299

Як видно з таблиці 2.5 та 2.6, теплотехнічні характеристики зовнішніх стін не відповідають вимогам нормативних документів. Є потреба в термомодернізації конструкції стін корпусу за допомогою утеплювача. Товщина стін (залізобетонні панелі) – 25 см, Присутні часткові пошкодження стін зовні (рисунок 2.15).



Рисунок 2.15 – Загальний вигляд стін будівлі та наявних пошкоджень (зовні)

Вимощення по периметру цоколя частково зруйнована та потребує відновлення (рисунок 3.16).



Рисунок 2.16 – Загальний вигляд цоколя та зруйнованого вимощення

Після проведення попереднього огляду будівлі була проведена тепловізійна зйомка з використанням тепловізора, та додаткове безконтактне вимірювання температури поверхні стін за допомогою пірометра.

Далі наведено тепловізійні зображення (отримані термограми) стін будівлі (зовнішня зйомка наведена на рисунках 2.17 – 2.18).

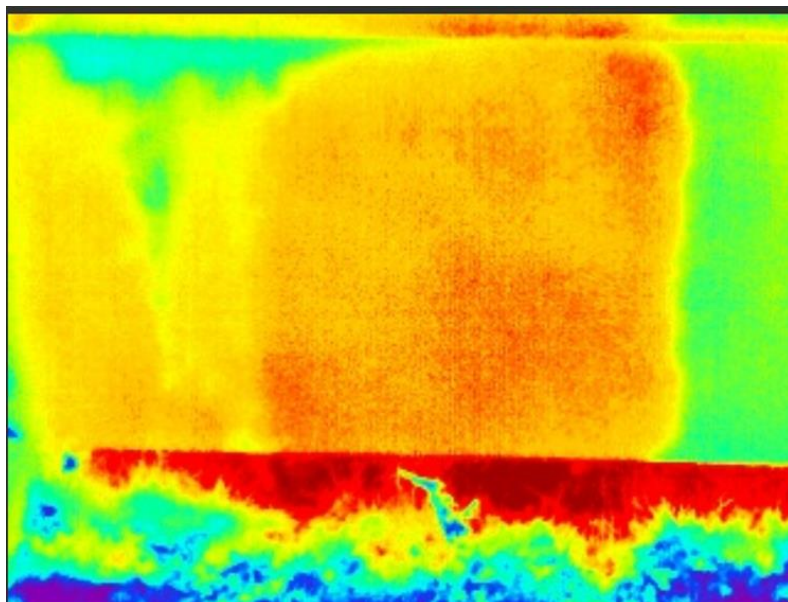


Рисунок 2.17 – Тепловізійні знімки стін будівлі (зовнішня зйомка, частина залізобетонних панельних стін з утепленням)

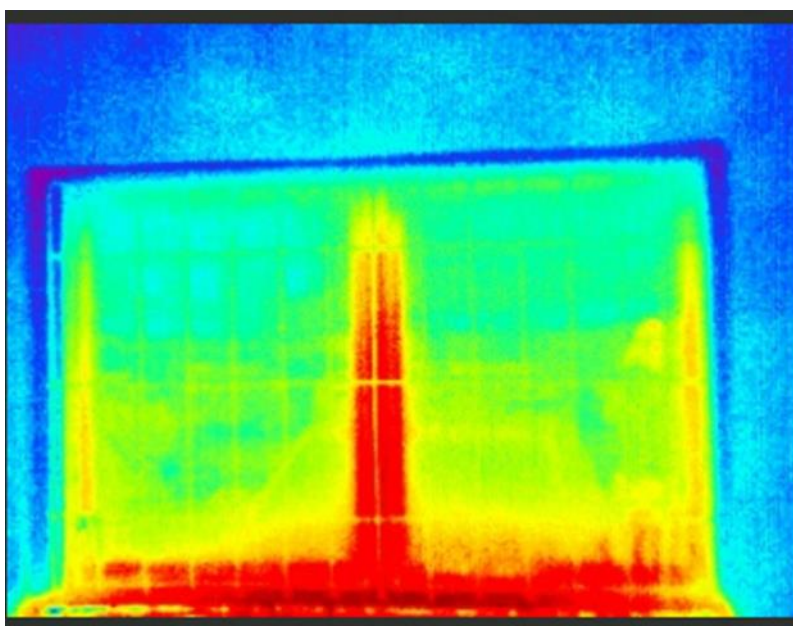


Рисунок 2.18 – Тепловізійні знімки стін будівлі (зовнішня зйомка, частина залізобетонних панельних стін без утепленням)

Як видно з рисунків 2.17 – 2.18, присутні часткові втрати тепла через стіни без утеплення будівлі, що призводить до перевитрат паливно-енергетичних ресурсів на опалення приміщень. Значні втрати спостерігаються в місцях примикання залізобетонних панелей до вікон, а також в місцях контакту стін з вимощенням.

Таким чином, в результаті проведення обстеження та тепловізійної зйомки стін корпусу без утеплення, виявлено не значні втрати, які спричиняють до збільшеного споживання паливно-енергетичних ресурсів. Виникає необхідність термомодернізації непрозорих огорожувальних конструкцій утеплюючим матеріалом.

Обстеження віконних конструкцій

Частина вікон будівлі перебувають в задовільному, а частина в незадовільному стані. В корпусі присутні вікна в дерев'яних рамах. У виробничих приміщеннях вікна з одинарним склінням в металевих рамах. В таблиці 2.7 наведена загальна інформація по вікнах будівлі котельні. В таблиці 2.8 деталізована інформація щодо площ вікон за орієнтаціями та за видами.

Таблиця 2.7 – Загальна інформація щодо віконних конструкцій будівлі корпусу 9.

Загальна площа (м ²)	429	Опір теплопередачі (середнє значення) (м ² · °С) / Вт	0,4
Тип матеріалу рами	Д - дерево, П – пластик, М - метал:		
Тип скління	2G – подвійне скління.		

Таблиця 2.8 – Інформація щодо орієнтації та площ віконних конструкцій будівлі корпусу 9.

Орієнтація	Загальна площа, м ²	Тип матеріалу рами (Д, П, М)	Тип скління, 1G,...	Опір теплопередачі, м ² · °С / Вт
Пн	59	П	2	0,43
	30	Д	2	0,37
Пд	139	П	2	0,37
	17	Д	2	0,37
Сх	92	П	2	0,43
Зх	14	П	2	0,43
	78	Д	2	0,37
Всього	429			

На наступних рисунках 2.19 – 2.21 наведено загальний вигляд вікон в будівлі корпусу 9.



Рисунок 2.19 – Загальний вигляд вікон в дерев'яних рамах

Оскільки теплотехнічні характеристики вікон не відповідають нормативним вимогам, то необхідно передбачити їх повну заміну у всіх приміщеннях будівлі корпусу.



Рисунок 2.20 – Загальний вигляд вікон із дерев’яними рамами

Далі наведені результати тепловізійної зйомки віконних рам та віконних конструкцій в будівлі котельні. Зовнішня зйомка наведена на рисунку 2.21.

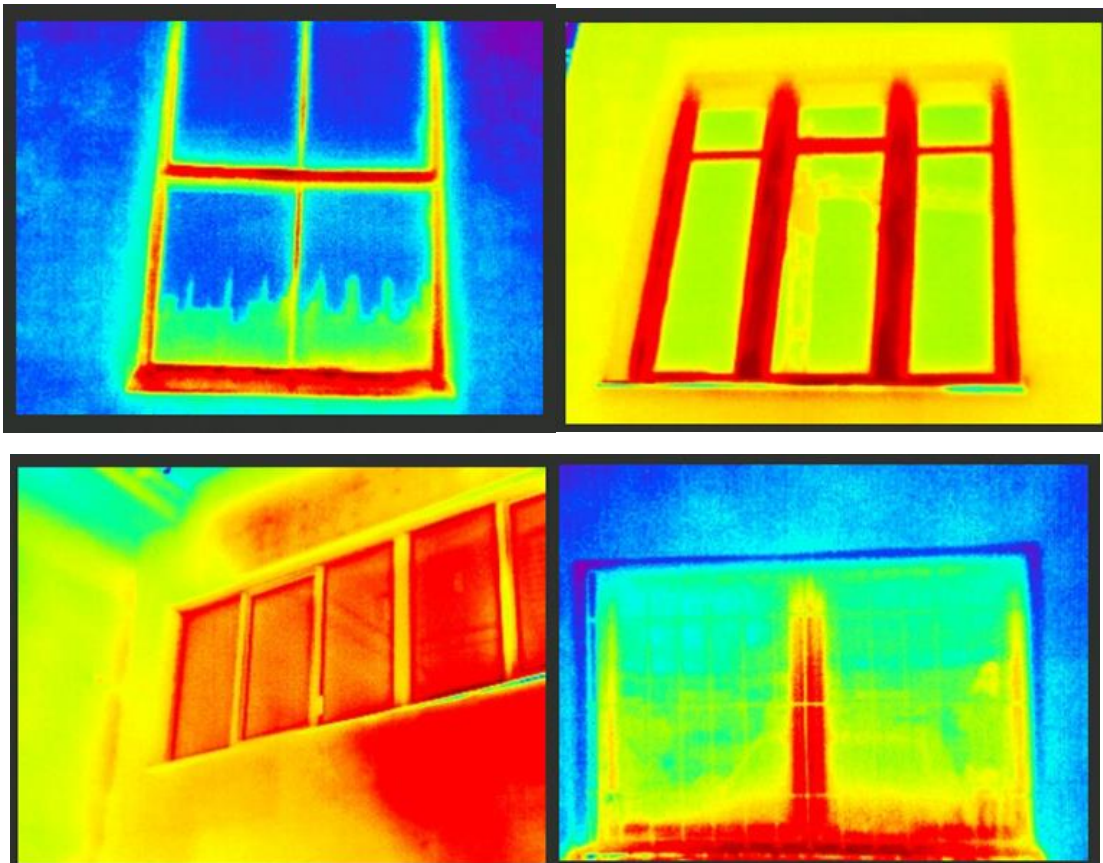


Рисунок 2.21 – Тепловізійні знімки вікон будівлі

На рисунку 2.21 наведено результати тепловізійної зйомки віконних рам та віконних конструкцій. Як видно з даних рисунків, стан віконних конструкцій з металопластику задовільний, стан віконних конструкцій з дерева, та миталу незадовільний. Спостерігається втрата тепла через віконні рами, а також через отвори у віконних блоках.

Обстеження дверей та воріт

Загальний стан частини дверей задовільний. В таблиці 2.9 наведена загальна інформація щодо конструкції дверей будівлі корпусу. В таблиці 2.10 наведена інформація щодо орієнтацій дверних конструкцій в будівлі.

Таблиця 2.9 – Загальна інформація щодо конструкції дверей будівлі.

Загальна площа, м ²	21	Опір теплопередачі (середнє значення), м ² · °С / Вт	0,21
Тип матеріалу	Д – дерево, М – метал		

Таблиця 2.10 – Інформація щодо орієнтації за сторонами світу дверних конструкцій будівлі

Орієнтація	Загальна площа, м ²	Тип матеріалу рами (Д, П, М)	Тип скління, 1G,...	Опір теплопередачі, м ² · °С / Вт
Пн	4	М		0,25
	17	Д		0,42
Всього	21			

На рисунку 2.22 наведено загальний вигляд дверних конструкцій та воріт будівлі.



Рисунок 2.22 – Загальний вигляд дверей та воріт в будівлі

Оскільки теплотехнічні характеристики дерев'яних воріт не відповідають нормативним вимогам, то необхідно передбачити їх повну заміну.

Обстеження покрівлі

Стан покриття будівлі незадовільний. Покриття будівлі складається із листів шиферу, товщиною 5,8 мм. В таблиці 2.11 наведена загальна інформація про покриття будівлі. Опір теплопередачі перекриття не відповідає нормативним вимогам. Відсутність планок примикання, дерев'яні софіти (підшивка даху), гниють, частково вкриті грибком.

Таблиця 2.11 – Загальна інформація по перекриттю будівлі

Загальна площа, м ²	2000	Опір теплопередачі (середнє значення), м ² · °С / Вт	0,185
--------------------------------	------	---	-------

Загальний вигляд перекриття будівлі наведено на рисунку 2.23.



Рисунок 2.23 – Загальний вигляд перекриття будівлі

Як видно з рисунку 2.23, через покриття також присутні втрати тепла. Це свідчить про потребу модернізації перекриття будівлі.

Обстеження підлоги

Стан підлоги будівлі задовільний. Місцями присутні пошкодження. Загальна інформація по підлозі будівлі наведена в таблиці 2.12.

Таблиця 2.12 – Загальна інформація по підлозі будівлі

Загальна площа, м ²	Площа забудови (по землі), м ²	Опір теплопередачі (середнє значення), м ² · °С / Вт
3705,3	1800	0,27

Підлогу будівлі наведено на рисунку 2.24.



Рисунок 2.24 – Зображення підлоги будівлі.

Обстеження системи опалення

Система опалення в будівлі централізована. Загальний стан опалювальних пристроїв та системи загалом – задовільний. В будівлі присутні опалювальні пристрої різних типів (рисунок 2.25).



Рисунок 2.25 – Загальний вигляд опалювальних пристроїв будівлі

З метою оцінювання роботи системи опалення проведено тепловізійні обстеження. Результати тепловізійних обстежень наведені на наступних рисунку 2.26.

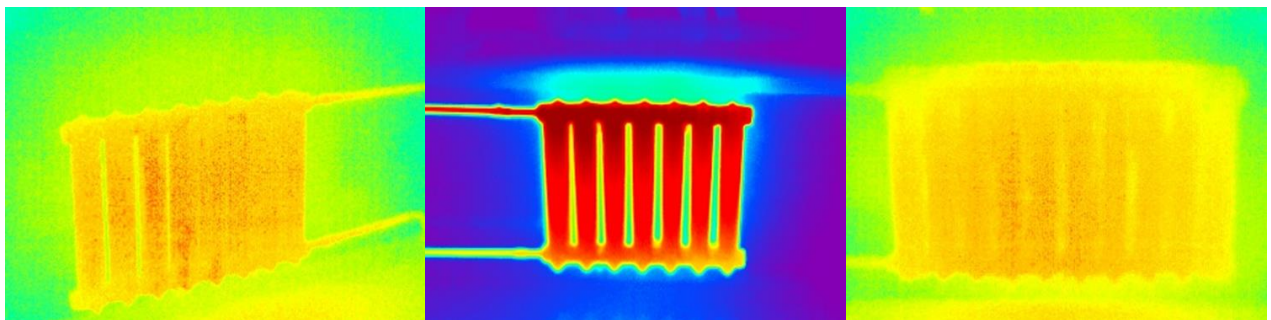


Рисунок 2.26 – Тепловізійні знімки системи опалення будівлі

Як видно з отриманих тепловізійних зображень, система опалення працює задовільно.

Обстеження системи вентиляції

В приміщеннях будівлі присутня, в основному, виключно природна система вентиляції, та в деяких аудиторіях стоять рекуператори повітря (приплив повітря здійснюється через відчинені вікна, та через двері). Потреб встановлення централізованої системи вентиляції немає.

Обстеження системи освітлення

Система освітлення в будівлі в більшій мірі складається більш ефективних ламп і частини звичайних застарілих ламп.

В будівлі, а саме в коридорах, присутнє автоматичне керування системою освітлення. В будівлі використовують світлодіодні лампи та світильники. Загальний вигляд частини ламп та світильників в будівлі наведено на наступних рисунках 2.27 – 2.28.



Рисунок 2.27 – Загальний вигляд світильників в будівлі



Рисунок 2.28 – Загальний вигляд світильників в будівлі

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 2

У межах другого розділу було проведено детальне обстеження будівлі 9-го навчального корпусу ІФНТУНГ з метою подальшої оцінки її енергетичного стану та визначення потенціалу підвищення енергоефективності. На основі аналізу технічної документації, планувальних рішень та характеристик конструктивних елементів встановлено, що будівля зведена у 1973 році та введена в експлуатацію у 1974 році, що зумовлює її відповідність будівельним нормам того періоду. Частковий капітальний ремонт, виконаний у 2017 році, покращив стан окремих приміщень, однак не вирішив основних питань, пов'язаних із тепловими втратами та енергоефективністю конструкцій.

Будівля має три поверхи та загальну площу основи 1800 м². Конструктивна схема включає бетонний фундамент, цегляні стіни, залізобетонні перекриття та шиферну покрівлю. Опалення забезпечує дахова котельня, спільна для корпусів №4, №5 та №9. Усі основні системи інженерного забезпечення (електропостачання, водопровід, каналізація) знаходяться в експлуатаційному стані, однак їх ефективність відповідає рівню, характерному для будівель 1970-х років.

Проведений аналіз споживання паливно-енергетичних ресурсів за 2016–2019 роки показав нерівномірність та значні коливання у використанні природного газу, води та електроенергії. Такі зміни можуть вказувати на нестабільний режим експлуатації будівлі, відсутність автоматизованого регулювання та можливі тепловтрати через огорожувальні конструкції. Особливо помітним є різке зростання споживання газу у 2018 році, що потребує додаткового аналізу під час енергетичного аудиту.

Також було проведено комплексне інструментальне та візуальне обстеження огорожувальних конструкцій і технічних систем будівлі 9-го навчального корпусу ІФНТУНГ. Використання сучасних вимірювальних засобів – тепловізора, пірометра, термоанемометрів, люксметра, вимірювачів мікроклімату та лазерного далекоміра — забезпечило можливість отримати

точні дані про технічний стан конструкцій та ефективність експлуатації інженерних систем.

Обстеження стін показало, що їхні теплотехнічні характеристики є недостатніми та не відповідають нормативним вимогам. Значні тепловтрати виявлено у місцях примикання панелей, зоні цоколю, а також у фрагментах стін без утеплення. Візуальна оцінка підтвердила наявність часткових пошкоджень та руйнування вимощення, що додатково погіршує теплоутримувальні властивості будівлі й збільшує тепловтрати.

Дослідження віконних конструкцій виявило суттєві недоліки: частина вікон знаходиться у незадовільному стані, багато з них виконані з дерев'яними або металевими рамами з одинарним склінням. Тепловізійна зйомка підтвердила наявність інфільтраційних втрат та порушень герметичності. У зв'язку з цим рекомендовано повну заміну вікон на сучасні енергоефективні конструкції.

Аналіз дверей та воріт показав, що їхні характеристики також не відповідають нормативам, особливо для дерев'яних конструкцій. Низький опір теплопередачі та недостатня герметичність призводять до додаткових енергетичних втрат, що робить їх модернізацію доцільною.

Стан покрівлі оцінено як незадовільний. Покрівельні матеріали зношені, місцями уражені грибок, відсутні елементи примикання. Теплотехнічні властивості покриття суттєво нижчі за нормативні, що обумовлює значні тепловтрати через верхнє огороження. Це свідчить про необхідність модернізації даху та утеплення перекриття.

Підлога перебуває в загалом задовільному стані, хоча місцями виявлено пошкодження. Опір теплопередачі підлоги також низький, що потребує розгляду можливостей підвищення її енергоефективності.

Обстеження системи опалення показало, що вона в цілому функціонує задовільно. Тепловізійні зйомки підтвердили рівномірність прогрівання опалювальних приладів, хоча наявність різних типів радіаторів може впливати на ефективність регулювання та балансування системи.

Система вентиляції представлена переважно природною вентиляцією, а в окремих приміщеннях – локальними рекуператорами. Встановлення

централізованої механічної вентиляції не є обов'язковим, однак стан природної вентиляції потребує оптимізації для забезпечення належного повітрообміну.

Система освітлення складається із сучасних світильників, на коридорах присутні системи автоматичного керування, що дає змогу заощаджувати електроенергію.

У цілому результати проведених обстежень свідчать про значний потенціал підвищення енергоефективності будівлі. Отримані дані є ключовою основою для подальших розрахунків, енергетичного моделювання та розроблення комплексу заходів термомодернізації, що будуть розглянуті у наступному розділі.

Загальний технічний стан будівлі можна вважати задовільним, однак результати обстеження свідчать про наявність значного потенціалу для підвищення енергоефективності. Вихідні дані, отримані в цьому розділі, слугують базою для подальших розрахунків енергетичного балансу будівлі, визначення тепловтрат та розроблення заходів, спрямованих на оптимізацію споживання енергоресурсів у наступному розділі роботи.

РОЗДІЛ 3

**КОМПЛЕКСНИЙ АНАЛІЗ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ
БУДІВЛІ КОРПУСУ №9 ІФНТУНГ ТА УДОСКОНАЛЕННЯ
СИСТЕМИ ЕНЕРГЕТИЧНОГО МЕНЕДЖМЕНТУ**

3.1 Методологічні засади оцінки енергетичної ефективності будівлі

Комплексний аналіз енергетичної ефективності будівлі корпусу №9 ІФНТУНГ включає два ключові компоненти:

- 1) Теплотехнічний аналіз огорожувальних конструкцій:
 - оцінювання фактичних тепловтрат;
 - розрахунок річної потреби будівлі в тепловій енергії;
 - визначення питомих характеристик теплоспоживання.
- 2) Удосконалення системи енергетичного менеджменту:
 - відповідно до ДСТУ ISO 50001:2020, 50002, 50006, 50015;
 - формування енергетичних показників;
 - побудова базової лінії;
 - визначення ефективності поточних та потенційних заходів.

Розрахунки виконуються з урахуванням:

- кліматичних даних м. Івано-Франківська;
- внутрішньої та зовнішньої температур +20 °С та –20 °С відповідно;
- конкретних площ поверхонь будівлі, виміряних у ході інструментального обстеження.

Основні формули теплотехнічних розрахунків

Опір теплопередачі огорожувальної конструкції обчислюється за формулою:

$$R = \frac{d}{\lambda} \quad (3.1)$$

де d – товщина матеріалу, м;

λ – коефіцієнт теплопровідності матеріалу.

Тепловтрати через огорожувальну конструкцію обчислюються за формулою:

$$Q = \frac{S \times \Delta T}{R} \quad (3.2)$$

де S – площа конструкції, м²;

ΔT – різниця температур в приміщенні і надворі (огорожувальна конструкція – 40 °С, підлога – 15 °С);

R – опір теплопередачі конструкції, м² · °С / Вт;

3.2 Розрахунок тепловтрат через огорожувальні конструкції будівлі

Розрахунок тепловтрат через неутеплені стіни

$$R_c = \frac{0,25}{2,04} + \frac{0,05}{0,88} \approx 0,1225 + 0,0648 \approx 0,1873 \text{ м}^2 \cdot \text{°С/Вт}$$

$$Q_c = \frac{875 \times 40}{0,1873} \approx 186,87 \text{ кВт}$$

Розрахунок тепловтрат через утеплені стіни

$$R_{\text{ут.с}} = \frac{0,25}{2,04} + \frac{0,05}{0,88} + \frac{0,1}{0,041} \approx 0,1225 + 0,0648 + 2,44 \approx 2,627 \text{ м}^2 \cdot \text{°С/Вт}$$

$$Q_{\text{ут.с}} = \frac{299 \times 40}{2,627} \approx 4,55 \text{ кВт}$$

Розрахунок тепловтрат через металопластикові вікна

$$Q_{\text{м.в}} = \frac{304 \times 40}{0,77} \approx 15,79 \text{ кВт}$$

Розрахунок тепловтрат через дерев'яні вікна

$$Q_{\text{д.в}} = \frac{125 \times 40}{0,38} \approx 13,16 \text{ кВт}$$

Розрахунок тепловтрат через металеві двері

$$Q_{\text{м.д}} = \frac{4 \times 40}{0,25} = 0,64 \text{ кВт}$$

Розрахунок тепловтрат через дерев'яні двері

$$Q_{\text{д.д}} = \frac{17 \times 40}{0,4167} \approx 1,63 \text{ кВт}$$

Розрахунок тепловтрат через покрівлю

$$Q_{\text{покр}} = \frac{2000 \times 40}{0,185} \approx 432,43 \text{ кВт}$$

Розрахунок тепловтрат через підлогу

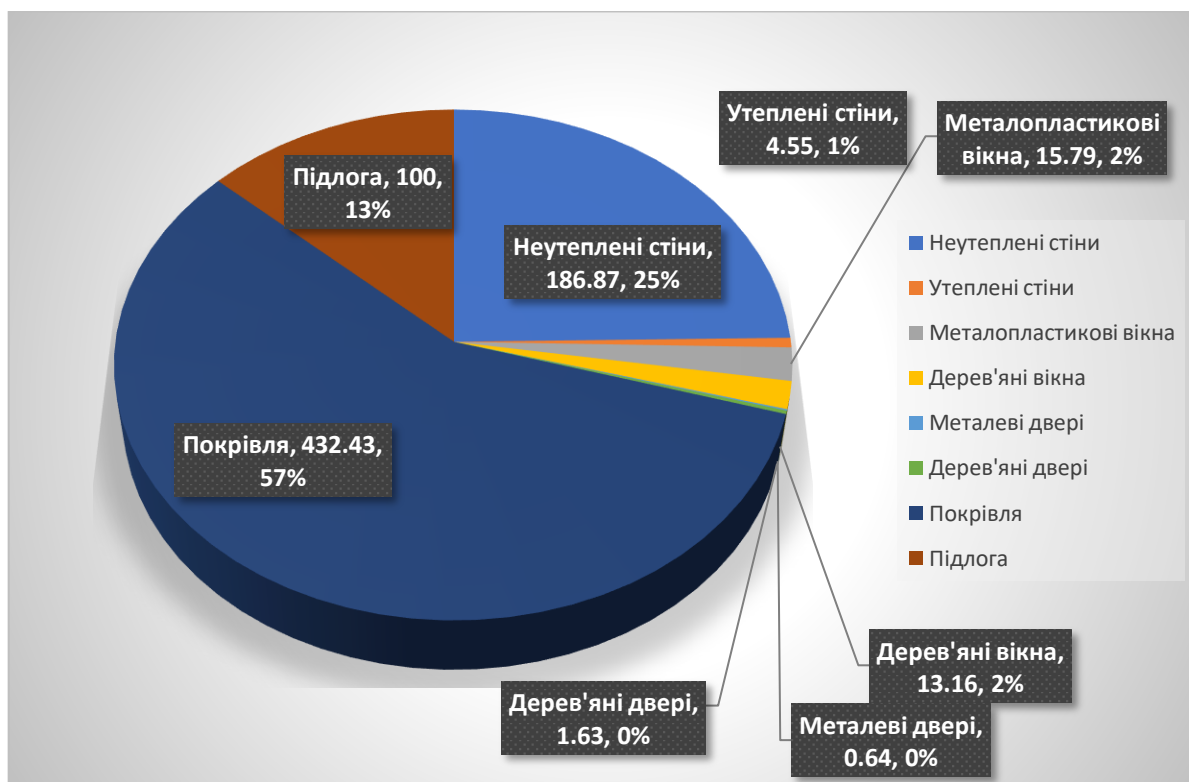
Для підлоги на ґрунті стандартом різниці температур є значення 15 °С.

$$Q_{\text{підл}} = \frac{1800 \times 15}{0,27} = 100 \text{ кВт}$$

Розрахунок загальних тепловтрат корпусу

Загальний баланс тепловтрат корпусу становить:

$$Q_{\text{заг}} = Q_c + Q_{\text{ут.с}} + Q_{\text{м.в}} + Q_{\text{д.в}} + Q_{\text{м.д}} + Q_{\text{д.д}} + Q_{\text{покр}} + Q_{\text{підл}} =$$
$$= 186,87 + 4,55 + 15,79 + 13,16 + 0,64 + 1,63 + 432,43 + 100 = 755,07 \text{ кВт}$$



Діаграма 3.1 – Тепловтрати через огороджувальні конструкції

3.3 Заходи з покращення енергоефективності будівлі

Неутеплені стіни

Згідно ДБН В.2.6-31:2021 «Теплова ізоляція будівель», для зовнішніх стін житлових та громадських будівель, мінімально допустиме значення опору теплопередачі $R_{\min} = 4,0 \text{ м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$. А значення опору теплопередачі неутепленої ділянки стіни, згідно розрахунків, становить $0,1873 \text{ м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$ – це в 21 раз менше за норму.

Тому, потрібно утеплити стіну. Теплоізоляційний матеріал повинен бути негорючим. Враховуючи це, можна запропонувати мінеральну вату [20].

Обчислимо, скільки бракує опору до норми:

$$R_{\text{бр}} = R_{\text{норм}} - R_{\text{теп}} = 4 - 0,187 = 3,813 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$$

Коефіцієнт теплопровідності вибраної мінеральної вати дорівнює:

$$\lambda = 0,04 \text{ Вт / (м} \cdot \text{°C)}$$

Обчислюємо необхідну товщину мінеральної вати:

$$d = 3,813 \times 0,04 = 0,153 \text{ м}$$

Найближче більше значення товщини ізоляційного матеріалу, який пропонують продавці, є 0,2 м. Тому обираємо саме цю товщину. Тепер можна обчислити опір теплопередачі і тепловтрати після утеплення мінеральною ватою:

$$R = \frac{0,25}{2,04} + \frac{0,05}{0,88} + \frac{0,2}{0,04} = 5,1873 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$$

Тепловтрати після утеплення складатимуть:

$$Q = \frac{875 \times 40}{5,1873} \approx 6,75 \text{ кВт}$$

Економія після утеплення дорівнює:

$$\text{Економія} = 186,87 - 6,75 = 180,12 \text{ кВт}$$

Опалювальний сезон триває з 1 листопада до 31 березня (151 доба, 3624 год.), отже розраховуємо зекономлену енергію в кВт · год за формулою:

$$W = \Delta Q \times T_{\text{год}} \quad (3.3)$$

$$W = 180,12 \times 3624 = 652\,755 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

В грошовому еквіваленті економія складе:

$$\text{Економія}_{\text{грн}} = 3,44 \times 652\,755 \approx 2\,245\,500 \text{ грн}$$

Приблизна вартість самої мінеральної вати і її монтажу становить 950 грн / м². Звідси рахуємо, скільки буде коштувати утеплення усїєї неутепленої ділянки:

$$V_{\text{утеп}} = 950 \times 875 = 831\,250 \text{ грн}$$

Термін окупності складає:

$$T_{\text{окуп}} = \frac{831\,250}{2\,245\,500} = 0,37 \text{ року} = 4,5 \text{ місяці}$$

Утеплені стіни

Опір теплопередачі утепленої ділянки стіни (2,627 м² · °С / Вт) теж не відповідає мінімальному значенню, зазначеному в ДБН. Значить, старий утеплювач потрібно демонтувати і встановити новий. Самі стіни ті ж самі, відрізняється лише їх площа, а отже, і розрахунки будуть схожими [20], [21].

$$Q = \frac{299 \times 40}{5,1873} \approx 2,31 \text{ кВт}$$

Економія після даних заходів дорівнюватиме:

$$\text{Економія} = 4,55 - 2,31 = 2,24 \text{ кВт}$$

$$W = 2,24 \times 3624 \approx 8118 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

$$\text{Економія}_{\text{грн}} = 3,44 \times 8118 \approx 27\,926 \text{ грн}$$

До вартості мінеральної вати разом з роботою, також потрібно додати вартість демонтажу старої теплоізоляції (~ 200 грн / м²) – 950 → 1150 грн / м². Значить, вартість утеплення складе:

$$V_{\text{утеп}} = 1150 \times 299 = 343\,850 \text{ грн}$$

$$T_{\text{окуп}} = \frac{343850}{27926} \approx 12,3 \text{ років} \approx 12 \text{ років } 4 \text{ місяці}$$

Металопластикові вікна

Згідно ДБН В.2.6-31:2021, для вікон житлових та громадських будівель, мінімально допустиме значення опору теплопередачі $R_{\min} = 0,9 \text{ м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$. А значення опору теплопередачі неутепленої ділянки стіни, згідно розрахунків, становить $0,77 \text{ м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$. Замінювати наявні металопластикові вікна на більш енергоефективні не є доцільним рішенням, але порахуємо [19].

$$Q = \frac{304 \times 40}{0,91} = 13,36 \text{ кВт}$$

Економія дорівнює:

$$\text{Економія} = 15,79 - 13,36 = 2,43 \text{ кВт}$$

$$W = 2,43 \times 3624 \approx 8805 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

$$\text{Економія}_{\text{грн}} = 3,44 \times 8805 \approx 30\,290 \text{ грн}$$

Вартість заміни вікон разом з демонтажем старих і монтажем нових обійдеться приблизно у 893 950 грн.

$$T_{\text{окуп}} = \frac{893\,950}{30\,290} \approx 29,5 \text{ років}$$

Дерев'яні вікна

$$Q = \frac{125 \times 40}{0,91} = 5,49 \text{ кВт}$$

$$\text{Економія} = 13,16 - 5,49 = 7,67 \text{ кВт}$$

$$W = 7,67 \times 3624 \approx 27\,796 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

$$\text{Економія}_{\text{грн}} = 3,44 \times 27\,796 \approx 95\,620 \text{ грн}$$

Вартість заміни старих дерев'яних вікон на нові металопластикові обійдеться приблизно у 344 200 грн [19].

$$T_{\text{окуп}} = \frac{344\,200}{95\,620} \approx 3,6 \text{ років} \approx 3 \text{ роки } 7 \text{ місяців}$$

Металеві двері

Згідно ДБН В.2.6-31:2021, для зовнішніх дверей житлових та громадських будівель, мінімально допустиме значення опору теплопередачі $R_{\min} = 0,6 \text{ м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$. А значення опору теплопередачі металевих дверей становить $0,25 \text{ м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$.

$$Q = \frac{4 \times 40}{0,5} = 0,32 \text{ кВт}$$

$$\text{Економія} = 0,64 - 0,32 = 0,32 \text{ кВт}$$

$$W = 0,32 \times 3624 \approx 1160 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

$$\text{Економія}_{\text{грн}} = 3,44 \times 1160 \approx 3990 \text{ грн}$$

Вартість заміни старих металевих дверей на нові обійдеться приблизно у 12000 грн [22].

$$T_{\text{окуп}} = \frac{12000}{3990} \approx 3 \text{ роки}$$

Дерев'яні двері

$$Q = \frac{17 \times 40}{0,5} = 1,36 \text{ кВт}$$

$$\text{Економія} = 1,63 - 1,36 = 0,27 \text{ кВт}$$

$$W = 0,27 \times 3624 \approx 978 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

$$\text{Економія}_{\text{грн}} = 3,44 \times 978 \approx 3364 \text{ грн}$$

Вартість заміни старих дерев'яних дверей на нові обійдеться приблизно у 102000 грн [22].

$$T_{\text{окуп}} = \frac{102000}{3364} \approx 30,3 \text{ роки} \approx 30 \text{ років } 4 \text{ місяці}$$

Покрівля

Згідно ДБН В.2.6-31:2021, для горищних перекриттів холодних горищ житлових та громадських будівель, мінімально допустиме значення опору теплопередачі $R_{\min} = 4,5 \text{ м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$. А значення опору теплопередачі покрівлі становить $0,185 \text{ м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$ – це в 24 рази менше за норму.

Тому, потрібно утеплити покрівлю. Пропонований теплоізоляційний матеріал такий самий, як для стін – мінеральна вата.

Обчислимо, скільки бракує опору до норми:

$$R_{\text{бр}} = R_{\text{норм}} - R_{\text{теп}} = 4,5 - 0,185 = 4,315 \text{ м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$$

Коефіцієнт теплопровідності вибраної мінеральної вати дорівнює:

$$\lambda = 0,04 \text{ Вт} / (\text{м} \cdot \text{°C})$$

Обчислюємо необхідну товщину мінеральної вати:

$$d = 4,315 \times 0,04 = 0,173 \text{ м}$$

Найближче більше значення товщини ізоляційного матеріалу, який пропонують продавці, є 0,2 м. Тому обираємо саме цю товщину. Тепер можна обчислити опір теплопередачі і тепловтрати після утеплення мінеральною ватою:

$$R = \frac{0,0058}{0,35} + \frac{0,2}{0,04} = 5,0166 \text{ м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$$

Тепловтрати після утеплення складатимуть:

$$Q = \frac{2000 \times 40}{5,0166} \approx 15,95 \text{ кВт}$$

Економія після утеплення дорівнює:

$$\text{Економія} = 432,43 - 15,95 = 416,48 \text{ кВт}$$

$$W = 416,48 \times 3624 \approx 1\,509\,324 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

$$\text{Економія}_{\text{грн}} = 3,44 \times 1\,509\,324 \approx 5\,192\,075 \text{ грн}$$

Приблизна вартість самої мінеральної вати і її монтажу становить 950 грн / м². Значить утеплення покрівлі коштуватиме:

$$V_{\text{покp}} = 950 \times 2000 = 1\,900\,000 \text{ грн}$$
$$T_{\text{окуп}} = \frac{1\,900\,000}{5\,192\,075} \approx 0,37 \text{ років} \approx 4,5 \text{ місяці}$$

3.4 Удосконалення системи енергетичного менеджменту будівлі

Результати енергетичного аналізу корпусу №9 ІФНТУНГ та виконаних у роботі теплотехнічних розрахунків свідчать про наявність значного потенціалу підвищення енергоефективності будівлі. Виявлені тепловтрати через огорожувальні конструкції обґрунтовують необхідність впровадження системного підходу до управління енергоспоживанням. У зв'язку з цим, у межах магістерської роботи, це дозволило удосконалити систему енергетичного менеджменту корпусу №9 відповідно до вимог міжнародного стандарту ISO 50001:2018.

Система енергетичного менеджменту розглядається як комплекс взаємопов'язаних організаційних і технічних заходів, спрямованих на безперервне підвищення енергетичної результативності будівлі. Її функціонування базується на принципі постійного вдосконалення, що передбачає формування енергетичної політики, реалізацію запланованих заходів, контроль результатів та коригування управлінських рішень. Такий підхід забезпечує перехід від разових енергозберігаючих дій до системного управління споживанням енергоресурсів.

Формування енергетичної політики корпусу №9 орієнтоване на досягнення конкретних та вимірюваних цілей. Основними напрямками цієї політики є:

- зниження питомого споживання теплової енергії будівлею;

- забезпечення нормативних параметрів мікроклімату в навчальних приміщеннях;
- скорочення експлуатаційних витрат на теплопостачання;
- підвищення рівня енергоефективності інженерних систем.

Для оцінки ефективності впровадження енергетичної політики визначено базовий рівень енергоспоживання, сформований на основі річних показників споживання теплової енергії, отриманих у процесі енергетичного та теплотехнічного аналізу. Надалі цей рівень використовується для порівняння з фактичними значеннями та оцінки динаміки змін енергетичної результативності будівлі.

Організаційне забезпечення системи енергетичного менеджменту передбачає чіткий розподіл відповідальності між учасниками процесу управління енергоспоживанням. Ключову роль у цій структурі відіграє енергетичний менеджер корпусу, який координує реалізацію заходів з енергоефективності та здійснює аналіз показників споживання енергії. Для забезпечення ефективного функціонування системи доцільно передбачити:

- регулярний облік споживання теплової та електричної енергії;
- аналіз ключових показників енергетичної результативності, зокрема річного та питомого споживання теплової енергії;
- формування звітності для оцінки досягнення встановлених цілей;
- розроблення коригувальних дій у разі виявлення відхилень.

Таким чином, розроблений сценарій удосконалення системи енергетичного менеджменту корпусу №9 ІФНТУНГ поєднує вимоги міжнародних стандартів із результатами інженерних розрахунків, виконаних у межах даної магістерської роботи. Запропонований підхід забезпечує структуроване управління енергоспоживанням будівлі, створює передумови для поетапного зниження енергетичних витрат та може бути використаний як базова модель для інших будівель університету.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 3

Проведений аналіз дав змогу комплексно оцінити енергетичний стан корпусу №9 та визначити ключові чинники, які формують його тепловий баланс. Виконані розрахунки засвідчили, що будівля має суттєві тепловтрати, обумовлені переважно відсутністю теплоізоляції покрівлі та деяких ділянок зовнішніх стін, недостатньою енергоефективністю віконних блоків, особливо тих, в чий основі лежить дерево, а також застарілих дверних блоків – як дерев'яних, так і металевих. Встановлена величина тепловтрат дозволила оцінити річну потребу будівлі в тепловій енергії, що, у свою чергу, дало змогу визначити питомі показники та співвіднести їх із національними нормативами енергоефективності.

За результатами обчислень з'ясовано, що корпус споживає теплової енергії значно більше, ніж сучасні нормативні орієнтири, що свідчить про низький теплотехнічний рівень огорожувальних конструкцій і високий потенціал енергозбереження. Теплова характеристика корпусу вказує на потребу у комплексних заходах:

- утеплення зовнішніх неутеплених стін мінеральною ватою – розрахунки показали, що даний захід матиме термін окупності 4,5 місяці, що майже дорівнює 1 календарному року, адже опалювальний період триває 5 місяців;
- заміна старих дерев'яних вікон на сучасні та енергоефективні металопластикові – термін окупності дорівнює близько 3 роки 7 місяців;
- заміна старих металевих дверей на більш енергоефективні – термін окупності складає приблизно 3 роки;
- утеплення покрівлі, а саме обшиття всередині мінеральною ватою – даний захід матиме термін окупності близько 4,5 місяці.

Запропонована модель удосконалення системи енергетичного менеджменту на основі вимог стандарту ISO 50001 демонструє, що ефективність

енерговикористання залежить не лише від технічного стану будівлі, а й від правильного управління енергоресурсами.

У комплексі результати дослідження підтверджують, що корпус №9 володіє значним потенціалом скорочення теплових витрат. Усунення основних джерел енергетичних втрат та впровадження системи енергоменеджменту здатні не лише зменшити річне споживання теплової енергії, але й підвищити комфортність умов перебування в приміщеннях, знизити навантаження на котельне обладнання та забезпечити економічно обґрунтоване використання бюджетних коштів. Таким чином, проведене дослідження стало важливим етапом у формуванні стратегії енергоефективного розвитку навчального корпусу і підтвердило актуальність подальших заходів як технічного, так і організаційного характеру.

ВИСНОВКИ

Під час виконання магістерської роботи було здійснено системний, послідовний та багатоступінчастий аналіз енергетичної ефективності будівлі корпусу №9 Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу, який охоплює як нормативні аспекти, так і реальний технічний стан будівлі та результати теплотехнічних розрахунків. У межах дослідження було сформовано науково обґрунтований підхід до підвищення енергоефективності будівель університету, який може бути використаний як модель для аналогічних інфраструктурних об'єктів закладів освіти.

Отримані результати дозволили комплексно оцінити сучасний рівень енергоспоживання корпусу та визначити ключові напрямки модернізації, що мають стратегічне значення не лише з точки зору економії енергоресурсів, а й для підвищення комфорту, енергетичної незалежності та технологічної стійкості університетської інфраструктури. У процесі дослідження було встановлено, що корпус №9 належить до будівель, які функціонують у режимі підвищеної енерговитратності внаслідок морально застарілого конструктивного виконання, відсутності на більшій частині будівлі сучасної теплоізоляції покрівлі, а також недостатньої кількості якісних віконних та дверних блоків. Це стало серйозною передумовою для використання методів енергетичного менеджменту, здатних забезпечити системне й довгострокове скорочення енергоспоживання.

На основі аналізу нормативно-правової бази, поданої у першому розділі, було визначено, що сучасні вимоги до енергоефективності будівель суттєво змінилися порівняно з періодом експлуатації корпусу. Стійка тенденція до зростання тарифів на енергоресурси, а також курс України на європейську інтеграцію вимагають переходу від часткових заходів до використання цілісних енергоменеджментних систем. Стандарти ISO 50001, ISO 50002, ISO 50006 та ISO 50015 визначають концептуальний підхід до управління енергоспоживанням на всіх рівнях: від формування енергетичної політики до впровадження практичних інструментів моніторингу, аналізу та прогнозування споживання.

Саме тому теоретичний аналіз цих документів став не лише складовою дослідження, а й методологічною основою для формування рекомендацій щодо модернізації корпусу №9.

Обстеження будівлі, проведене в межах другого розділу, дозволило об'єктивно оцінити технічний стан конструктивних елементів. Встановлено, що корпус має значні площі зовнішніх стін, частина яких утеплена, однак значна площа огорожувальних конструкцій залишається без сучасного теплоізоляційного шару. Частина вікон, яка становить помітну частку фасадної площі, виконана зі старих матеріалів і характеризується низьким опором теплопередачі. Особливу увагу у дослідженні було приділено покрівлі, яка є найбільшим джерелом тепловтрат: відсутність утеплення на площі понад 2000 м² формує непропорційно великий тепловий потік, що потребує компенсації з боку системи опалення. У сукупності такі конструктивні особливості визначають підвищений рівень споживання теплової енергії порівняно із сучасними будівельними нормами.

У третьому розділі виконано детальний аналіз теплотехнічних характеристик огорожувальних конструкцій та інженерних систем. Для цього використано інструментальні вимірювання, доступні технічні паспорти, матеріали енергоаудитів та фактичні дані. Виявлено, що стіни корпусу мають недостатній опір теплопередачі, що характерно для будівель періоду їх зведення. У свою чергу, віконні конструкції не забезпечують достатньої герметизації, що спричиняє інфільтраційні тепловтрати та додаткове навантаження на систему опалення. Значні втрати тепла через перекриття над ґрунтом і через покрівлю обумовлені відсутністю теплоізоляційних шарів. Вентиляційні витрати досягають майже третини загальних тепловтрат, що для навчальних приміщень є значним показником і потребує технічної модернізації.

У теплотехнічних розрахунках четвертого розділу визначено фактичну величину тепловтрат будівлі, яка становить понад 300 кВт при розрахункових температурних умовах. Найбільша частка припадає на покрівлю (понад 40%) та вентиляцію. Отримані значення річного споживання теплової енергії свідчать, що будівля належить до низького класу енергоефективності й потребує

комплексної модернізації. Розрахунок питомого споживання теплової енергії підтвердив значний розрив між фактичними характеристиками та нормативними вимогами сучасності. Також здійснено моделювання енергоспоживання за методом градусо-днів і розраховано очікувану економію енергії після впровадження заходів, що дозволило визначити обґрунтовані обсяги потенційного зниження споживання.

У цьому ж розділі для корпусу №9 було сформовано концепцію системи енергетичного менеджменту. Запропонована модель містить організаційну структуру, систему відповідальності, механізм внутрішнього аудиту, принципи формування енергетичної політики та базової лінії споживання. Визначено енергетичні індикатори, що дозволяють відслідковувати зміни в енергоспоживанні незалежно від зовнішніх факторів, таких як погодні умови чи інтенсивність експлуатації приміщень. Така система здатна забезпечити довготривале підвищення енергетичної ефективності та підґрунтя для раціонального прийняття управлінських рішень.

Загалом результати дослідження чітко демонструють, що корпус №9 має значний невикористаний потенціал енергозбереження. Комплексна реалізація запропонованих технічних і організаційних заходів сприятиме зменшенню споживання теплової енергії на 30–50%, що є суттєвим внеском у зниження експлуатаційних витрат університету. Впровадження системи енергетичного менеджменту здатне гарантувати сталість досягнутого ефекту, забезпечити оперативний контроль та адаптацію до змінних умов експлуатації. Таким чином, дослідження не лише підтверджує доцільність модернізації корпусу, але й окреслює конкретні шляхи її реалізації, які можуть бути масштабовані на інші будівлі університету.

У підсумку слід відзначити, що виконана робота продемонструвала значення інтегрованого підходу до енергозбереження, який поєднує технічні рішення з енергетичним менеджментом як системою. Результати дослідження можуть бути використані для планування бюджетних та інвестиційних програм, отримання грантової підтримки, модернізації університетських будівель та формування стратегії енергоефективності ІФНТУНГ. Проведена робота створює

основу для подальших наукових досліджень і практичних впроваджень, спрямованих на підвищення енергетичної незалежності та раціонального використання ресурсів у закладах вищої освіти.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Хмельнюк М.Г., Яковлева О.Ю., Остапенко О.В. Енергетичний менеджмент і аудит. 2020. 225 с.
2. Дзядикевич Ю.В, Гевко Р.Б., Буряк М.В., Розум Р.І. Енергетичний менеджмент. Тернопіль: Економічна думка. 2014. 335 с.
3. Давиденко Л. В. Енергетичний аудит і енергоменеджмент: методичні вказівки до практичних занять для студентів спеціальності 141 «Енергетика, електротехніка, електромеханіка» денної та заочної форми навчання. Луцьк: Луцький НТУ, 2016. 24 с.
4. Заяць А. Енергетичний менеджмент. Практичний посібник з керування власною енергією. 2023. 224 с.
5. Хмельнюк М.Г. Енергетичний менеджмент і аудит. 2024. 226 с.
6. ISO 50001:2018 Energy management systems – Requirements with guidance for use. [Valid from 2018-08-21]. Brussels, 2018. 42 p.
7. ДСТУ ISO 50001:2020 Системи енергетичного менеджменту. Вимоги та настанова щодо використання. [Чинний від 2020-06-03]. Київ, 2020. 33 с.
8. ДСТУ ISO 50006:2016. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=64377
9. ДСТУ ISO 50002:2016. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=64370
10. ДСТУ ISO 50015:2016. URL: https://online.budstandart.com/ru/catalog/doc-page?id_doc=64379
11. ISO 50003:2016. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=64374
12. ДБН В.2.6-31:2021 «Теплова ізоляція будівель». URL: <https://dbn.co.ua/load/normativy/dbn/1-1-0-13>
13. ДБН В.2.6-33:2018 «Конструкції зовнішніх стін». URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=78182

- 14.ДБН В.2.5-67:2013 «Опалення, вентиляція та кондиціонування». URL: <https://dbn.co.ua/load/normativy/dbn/1-1-0-1018>
- 15.ДБН В.2.5-28:2006 «Природне та штучне освітлення». URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=28019
- 16.ДСТУ Б В.2.6-189:2013 «Методи вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будівель. Київ: Мінрегіон України. 2014
- 17.Директива 2012/27/ЄС. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/984_017-12#Text
- 18.Директива 2010/31/ЄС. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/984_011-10#Text
- 19.Енергокалькулятор вікон. URL: https://okna.ua/ua/energoeffektivnost_okna
- 20.Мінеральна вата. Інтернет магазин Budgild. URL: <https://budgild.ua/>
- 21.Сервіс пошуку майстрів для удосконалення енергетичної ефективності. URL: <https://www.rabotniki.ua/uk/>
- 22.Інтернет-магазин дверей StarDesign. URL: <https://stardyzain.com.ua/>
- 23.Енергоефективність громадських будівель в Україні. Міністерство розвитку громад та територій України. URL: <https://mtu.gov.ua/>
- 24.Вербицький Є.В. Енергозбереження і енергоефективність. Конспект лекцій для студентів. Київ. 2014
- 25.Постанова Кабінету Міністрів України №1460 «Про впровадження систем енергетичного менеджменту» від 23.12.2021. Київ