

Український державний університет залізничного транспорту

Кафедра теплотехніки, теплових двигунів та енергетичного менеджменту

ЕНЕРГЕТИЧНИЙ АУДИТ АДМІНІСТРАТИВНОЇ БУДІВЛІ

Пояснювальна записка і розрахунки
до магістерської роботи

КРМ 100.100.00.00.00 ПЗ і Р

Розробив: студент групи 216-ЕМ-Д24
спеціальності 144 (роботу виконано
самостійно, відповідно до принципів
академічної доброчесності)
Габрієль Е. О.

Керівник: к.т.н., доц.
Каграманян А.О.

Рецензент: к.т.н., доц..
Рубльов В.І.

2025 рік

Український державний університет залізничного транспорту
(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет механіко-енергетичний

Кафедра «Теплотехніка, теплові двигуни та енергетичний менеджмент»

Освітній рівень магістр

Спеціальність 144 «Теплоенергетика»
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

К.Т.Н., доц.

О.В. Василенко

2025 року

З А В Д А Н Н Я
НА РОБОТУ МАГІСТРА

Габрієлю Едуарду Олександровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема проекту (роботи) «Енергетичний аудит адміністративної будівлі»

керівник проекту (роботи) Каграманян Артур Олександрович, к.т.н., доцент

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від “24” лютого 2025 року № 15

2 Строк подання студентом закінченого проекту (роботи) 07.01.2026 р.

3 Вихідні дані до проекту (роботи) м. Київ, двоповерхова адміністративна будівля, розрахункова температура зовнішнього повітря -22°C; середня температура зовнішнього повітря за опалювальний період $t_{зовн} = -0,1^\circ\text{C}$, температура внутрішнього повітря в обстежуваних приміщеннях: +20 °C; тривалість опалювального сезону 176 діб.

Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)
Вступ; Теоретичні основи енергетичного аудиту будівель; Нормативно-правова база енергоефективності будівель в Україні; Класифікація та показники енергоефективності будівель; Методи та етапи проведення енергетичного аудиту будівель; Передумови проведення енергоаудиту; Перелік умовних позначень, символів та скорочень; Під час проведення енергоаудиту враховувалися наступні вимоги; Кліматичні дані; Інформація про об'єкт; Детальний енергетичний аудит; Визначення термічних та геометричних характеристик матеріалів огорожувальних конструкцій теплового контуру будівлі. Візуальне обстеження огорожувальних конструкцій; Результати термографічного обстеження фасадів будівлі; Повітропроникність огорожувальних конструкцій; Мікроклімат приміщень; Система теплопостачання будівлі; Система гарячого водопостачання будівлі; Система вентиляції будівлі; Система охолодження будівлі; Система освітлення в будівлі; Система електропостачання будівлі. Споживачі електроенергії; Вимірювальні прилади, що застосовувались в ході проведення обстеження; Методика визначення енергоспоживання на опалення, вентиляцію, гаряче водопостачання та освітлення; Визначення теплотехнічних показників

огороджувальних конструкцій; Розрахунок зовнішньої утепленої стіни будівлі; Розрахунок суміщеного покриття; Об'ємно-планувальні характеристики; Сумарна теплопередача трансмісією через зону будівлі; Узагальнені коефіцієнти теплопередачі трансмісією; Сумарна теплопередача вентиляцією через зону будівлі; Узагальнені коефіцієнти теплопередачі вентиляцією; Внутрішні теплонадходження будівлі; Сонячні теплонадходження; Загальні сонячні теплонадходження; Сонячні теплонадходження через елементи будівлі; Еквівалентна площа інсоляції закслених елементів; Еквівалентна площа інсоляції непрозорих елементів будівлі; Динамічні параметри; Внутрішні умови; Енергопотреби для опалення та охолодження; Тривалість опалювального періоду та періоду охолодження для діяльності сезонно залежних технічних засобів; Загальне енергоспоживання при опаленні (підсистеми тепловіддачі/ виділення); Загальне енергоспоживання при опаленні; Загальне енергоспоживання при охолодженні; Загальне енергоспоживання систем вентиляції; Енергопотреби ГВП; Енергоспоживання ГВП; Енергоспоживання при освітленні; Вимоги до показника енергоефективності; Енергоспоживання будівлі; Вимірне енергоспоживання; Базове енергоспоживання; Енергоспоживання після впровадження заходів; Клас енергоефективності будівлі; Енергоефективні заходи та економічне обґрунтування впроваджених енергоефективних заходів; Огороджувальні конструкції; Утеплення фасадів будівлі; Утеплення даху будівлі; Заміна вікон; Заміна дверних конструкцій; Система тепlopостачання; Модернізація системи опалення; Монтаж систем вентиляції; Альтернативні джерела енергії; Показники рентабельності від впровадження енергоефективних заходів; Екологічні вигоди; Енергетичний моніторинг: опис запропонованої системи енергомоніторингу; Висновки; Список використаних джерел.

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

Презентація в програмному продукті Microsoft PowerPoint (30 слайдів)

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

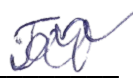
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Техніко-економічні розрахунки	Василенко О.В., доц.		
Нормоконтроль	Онищенко А.В., асист.		

7 Дата видачі завдання 23 червня 2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Срок виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Теплотехнічні розрахунки	06.10.25 - 25.10.25	
3	Техніко-економічний розрахунок	01.11.25 - 05.12.25	
5	Дослідницька частина	07.12.25 - 11.12.25	
6	Презентація в Microsoft PowerPoint	12.12.25 - 29.12.25	

Студент


(підпис)

Габрієль Е. О.
(прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи)


(підпис)

Каграманян А.О.
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Дана кваліфікаційна робота включає в себе 30 слайдів презентації, 148 аркушів пояснювальної записки формату А4, що включає 7 рисунків, 45 таблиць та 23 літературних джерела.

Ключові слова: АДМІНІСТРАТИВНА БУДІВЛЯ, ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ, ВНУТРІШНІЙ МІКРОКЛІМАТ, ВИТРАТИ НА ЕНЕРГІЮ, ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ, ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ, РЕКОМЕНДАЦІЇ, НОРМАТИВНІ ЗНАЧЕННЯ, ОГОРОДЖУВАЛЬНІ КОНСТРУКЦІЇ, ОПАЛЕННЯ, ВЕНТИЛЯЦІЯ, ГАРЯЧЕ ВОДОПОСТАЧАННЯ, ОСВІТЛЕННЯ, КЛАС ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ.

Об'єкт дослідження: Адміністративна будівля, збудована у 1946 році.

Предмет дослідження: Енергоспоживання будівлі.

Мета роботи: Покращення внутрішнього мікроклімату, зниження витрат на енергію, забезпечення більш ефективного управління та обслуговування будівлі і технічного обладнання.

Завдання роботи: Оцінка відповідності розрахункових показників енергоефективності будівлі встановленим мінімальним вимогам згідно ДСТУ 9190:2022 та ДБН В.2.6-31:2021, визначення потенціалу енергозбереження, розробка технічно та економічно обґрунтованих рекомендацій для підвищення рівня енергоефективності будівлі.

Під час підготовки та виконання проекту автор використовував інформацію, включаючи тексти, методи розрахунків, методологію дослідження та конкретні характеристики і параметри, знайдені в джерелах [1-23], цитованих у літературі. Крім того, автору дозволяється використовувати інформацію, отриману під час консультацій з керівником проекту, науково-педагогічними працівниками та іншими особами, яка складається з неопублікованих авторських розробок (сучасної наукової та інноваційної інформації), виключно для виконання цієї роботи.

Результати: Оцінка відповідності розрахункових показників енергоефективності будівлі нормативним значенням, визначення потенціалу енергозбереження та розробка технічно та економічно обґрунтованих рекомендацій щодо підвищення енергоефективності будівлі. Проведено розрахунки теплотехнічних показників огороджувальних конструкцій, енерговитрат на опалення, вентиляцію, гаряче водопостачання та освітлення адміністративної будівлі, визначено клас енергоефективності будівлі G з питомими енерговитратами 97,0 кВт·год/м³ на рік. Запропоновано 7 заходів з енергоефективності із загальним потенціалом енергозбереження 215 476 кВт·год/рік та скороченням викидів CO₂ на 42,07 тонн на рік, а також рекомендації щодо впровадження системи енергетичного менеджменту згідно ISO 50006:2016 та застосування протоколу IPMVP для моніторингу і верифікації результатів.

ABSTRACT

This qualification work includes 30 presentation slides and 148 pages of explanatory notes in A4 format, containing 7 figures, 45 tables, and 23 literature sources.

Keywords: ADMINISTRATIVE BUILDING, ENERGY CONSUMPTION, INDOOR MICROCLIMATE, ENERGY COSTS, ENERGY EFFICIENCY, ENERGY SAVING, RECOMMENDATIONS, REGULATORY VALUES, ENCLOSING STRUCTURES, HEATING, VENTILATION, HOT WATER SUPPLY, LIGHTING, ENERGY EFFICIENCY CLASS.

Object of research: Administrative building constructed in 1946.

Subject of research: Building's energy consumption.

Aim of the work: Improving the indoor microclimate, reducing energy costs, ensuring more efficient management and maintenance of the building and technical equipment.

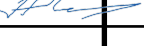
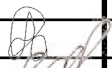
Tasks of the work: Assessing the compliance of the calculated energy efficiency indicators of the building with the established minimum requirements according to DSTU 9190:2022 and DBN V.2.6-31:2021, determining the energy saving potential, developing technically and economically sound recommendations for increasing the building's energy efficiency.

During the preparation and implementation of the project, the author used information, including texts, calculation methods, research methodology, and specific characteristics and parameters found in sources [1-23] cited in the literature. In addition, the author is allowed to use information obtained during consultations with the project supervisor, research and teaching staff, and other persons, which consists of unpublished author's developments (modern scientific and innovative information), exclusively for the performance of this work.^[1]

Results: Assessment of the compliance of the calculated energy efficiency indicators of the building with regulatory values, determination of the energy saving potential, and development of technically and economically sound recommendations for increasing the building's energy efficiency. Calculations of the thermotechnical indicators of enclosing structures, energy consumption for heating, ventilation, hot water supply, and lighting of the administrative building were carried out, and the building's energy efficiency class G was determined with specific energy consumption of 97,0 kWh/m³ per year. Seven energy efficiency measures were proposed with a total energy saving potential of 215,476 kWh/year and CO₂ emission reduction of 42,07 tons per year, as well as recommendations for implementing an energy management system according to ISO 50006:2016 and applying the IPMVP protocol for monitoring and verification of results.

Зміст

Вступ.....	4
1 Теоретичні основи енергетичного аудиту будівель	7
1.1. Нормативно-правова база енергоефективності будівель в Україні	7
1.2 Класифікація та показники енергоефективності будівель.....	13
1.3 Методи та етапи проведення енергетичного аудиту будівель	18
2 Передумови проведення енергоаудиту	34
2.1 Перелік умовних позначень, символів та скорочень.....	35
2.2 Під час проведення енергоаудиту враховувалися наступні вимоги.....	36
3 Кліматичні дані.....	38
4 Інформація про об'єкт.....	38
5 Детальний енергетичний аудит	42
5.1 Визначення термічних та геометричних характеристик матеріалів огороджувальних конструкцій теплового контуру будівлі. Візуальне обстеження огороджувальних конструкцій.....	43
5.2 Результати термографічного обстеження фасадів будівлі	56
5.3 Повітропроникність огороджувальних конструкцій.....	63
5.4 Мікроклімат приміщень	72
5.5 Система теплопостачання будівлі	77
5.6 Система гарячого водопостачання будівлі.....	86
5.7 Система вентиляції будівлі	88
5.8 Система охолодження будівлі	89
5.9 Система освітлення в будівлі.....	91

					КРМ 100.100.00.00.00. ПЗ і Р			
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив		Габрієль			Енергетичний аудит адміністративної будівлі	Літ.	Лист	Листів
Перевірив		Каграманян А. О.					5	148
Реценз.						гр. 216-ЕМ-Д24		
Н. Контр.		Онищенко А.В.						
Затверд.		Василенко О.В..						

5.10 Система електропостачання будівлі. Споживачі електроенергії.....	92
6 Вимірювальні прилади, що застосовувались в ході проведення обстеження	96
7 Методика визначення енергоспоживання на опалення, вентиляцію, гаряче водопостачання та освітлення.....	97
7.1 Визначення теплотехнічних показників огорожувальних конструкцій.....	97
7.1.1 Розрахунок зовнішньої утепленої стіни будівлі	97
7.1.2 Розрахунок суміщеного покриття.....	97
7.2 Об'ємно-планувальні характеристики	98
7.3 Сумарна теплопередача трансмісією через зону будівлі	98
7.4 Узагальнені коефіцієнти теплопередачі трансмісією.....	98
7.5 Сумарна теплопередача вентиляцією через зону будівлі	99
7.6 Узагальнені коефіцієнти теплопередачі вентиляцією	100
7.7 Внутрішні теплонадходження будівлі	101
7.8 Сонячні теплонадходження.....	101
7.8.1 Загальні сонячні теплонадходження	101
7.8.2 Сонячні теплонадходження через елементи будівлі	102
7.8.3 Еквівалентна площа інсоляції закслених елементів	102
7.8.4 Еквівалентна площа інсоляції непрозорих елементів будівлі	104
7.9 Динамічні параметри	104
7.10 Внутрішні умови	105
7.11 Енергопотреби для опалення та охолодження	105
7.12 Тривалість опалювального періоду та періоду охолодження для діяльності сезонно залежних технічних засобів	106
7.13 Загальне енергоспоживання при опаленні (підсистеми тепловіддачі/ виділення).....	106
7.14 Загальне енергоспоживання при опаленні.....	106

7.15 Загальне енергоспоживання при охолодженні.....	107
7.16 Загальне енергоспоживання систем вентиляції	107
7.17 Енергопотреби ГВП	107
7.18 Енергоспоживання ГВП	107
7.19 Енергоспоживання при освітленні	109
7.20 Вимоги до показника енергоефективності	110
8 Енергоспоживання будівлі	112
8.1 Виміряне енергоспоживання.....	113
8.2 Базове енергоспоживання	116
8.3 Енергоспоживання після впровадження заходів	117
8.4 Клас енергоефективності будівлі	118
9 Енергоефективні заходи та економічне обґрунтування впроваджених енергоефективних заходів	120
9.1 Огороджувальні конструкції.....	121
9.1.1 Утеплення фасадів будівлі	121
9.1.2 Утеплення даху будівлі	122
9.1.3 Заміна вікон	123
9.1.4 Заміна дверних конструкцій	124
9.2 Система теплопостачання	125
9.2.1 Модернізація системи опалення.....	125
9.2.2 Монтаж систем вентиляції	127
9.3 Альтернативні джерела енергії.....	128
9.4 Показники рентабельності від впровадження енергоефективних заходів.....	129
10 Екологічні вигоди.....	131
11 Енергетичний моніторинг: опис запропонованої системи енергомоніторингу	132
Висновки	137
Список використаних джерел	147

Вступ

Актуальність теми. У контексті сучасних викликів енергетичної безпеки та євроінтеграційних процесів, підвищення енергетичної ефективності будівельного фонду України набуває особливого значення. Будівлі споживають близько 40% всієї енергії в країні, що робить сектор будівництва одним з найбільш енергоємних. За оцінками експертів, близько 70 тисяч бюджетних закладів, 80 тисяч багатоквартирних будинків та 6,5 мільйонів приватних домогосподарств в Україні потребують термомодернізації.

Енергетичний аудит є ключовим інструментом для визначення фактичного стану енергоспоживання будівель, виявлення джерел нераціонального використання паливно-енергетичних ресурсів та розробки науково обґрунтованих заходів з підвищення енергоефективності. Згідно з Законом України «Про енергетичну ефективність будівель» (2017 р.) та Стратегією термомодернізації будівель України до 2050 року, енергетичне обстеження є обов'язковим етапом для об'єктів громадського та адміністративного призначення.

Адміністративні будівлі становлять значну частку громадського сектору і характеризуються тривалим часом експлуатації та, як правило, низьким рівнем енергоефективності. Більшість таких будівель було зведено у період 1950-1980-х років за нормами, що не відповідають сучасним вимогам теплового захисту. Тому проведення детального енергетичного аудиту адміністративних будівель з метою визначення потенціалу енергозбереження та розробки комплексу енергоефективних заходів є актуальним науково-практичним завданням.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дослідження виконується відповідно до Угоди про асоціацію між Україною та Європейським Союзом, Стратегії термомодернізації будівель України до 2050 року, затвердженої розпорядженням Кабінету Міністрів України від 18 серпня 2022 р. № 9736-р, а також у межах Програми українсько-данського енергетичного партнерства (УДЕПП) щодо консультаційних послуг з енергоаудиту державних адміністративних будівель.

Мета і задачі дослідження. Метою магістерської роботи є проведення детального енергетичного аудиту адміністративної будівлі з визначенням

фактичного стану енергоспоживання, виявленню резервів енергозбереження та розробкою техніко-економічно обґрунтованих заходів з підвищення енергоефективності.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

Проаналізувати теоретичні основи та нормативно-методичну базу проведення енергетичного аудиту будівель в Україні.

Систематизувати методи інструментального обстеження будівель та визначення показників енергоефективності.

Провести детальний енергетичний аудит адміністративної будівлі з оцінкою теплотехнічних характеристик огорожувальних конструкцій, стану інженерних систем та параметрів мікроклімату.

Визначити енергетичний баланс та клас енергоефективності досліджуваного об'єкта.

Розробити комплекс енергоефективних заходів з техніко-економічним обґрунтуванням та оцінкою екологічного ефекту.

Сформулювати рекомендації щодо підвищення енергоефективності адміністративної будівлі та системи енергетичного моніторингу.

Об'єкт дослідження – процеси енергоспоживання в адміністративній будівлі та шляхи підвищення її енергетичної ефективності.

Предмет дослідження – методи та засоби проведення енергетичного аудиту адміністративних будівель, показники енергоефективності огорожувальних конструкцій та інженерних систем.

Методи дослідження. У роботі використано комплекс методів: аналітичний метод для вивчення нормативної бази та літературних джерел; розрахунковий метод згідно з ДСТУ 9190:2022 для визначення енергоспоживання будівлі; інструментальні методи обстеження (тепловізійна зйомка, тест на повітропроникність, вимірювання параметрів мікроклімату); методи техніко-економічного аналізу для оцінки рентабельності енергоефективних заходів.

Наукова новизна отриманих результатів. Удосконалено методичний підхід до комплексного енергетичного аудиту адміністративних будівель, що поєднує інструментальне обстеження з розрахунково-аналітичними методами оцінки енергоефективності згідно з сучасними національними стандартами. Встановлено

кількісні залежності між теплотехнічними характеристиками огорожувальних конструкцій та загальним енергоспоживанням будівлі. Розроблено комплекс енергоефективних заходів з урахуванням багатокритеріального аналізу техніко-економічних показників.

Практичне значення отриманих результатів. Результати роботи можуть бути використані для планування та реалізації заходів з термомодернізації адміністративних будівель аналогічного типу. Розроблені рекомендації дозволяють знизити споживання теплової енергії на опалення до 68% відносно базового рівня, що відповідає класу енергоефективності «С». Запропонована система енергетичного моніторингу забезпечує контроль ефективності впроваджених заходів згідно з міжнародним стандартом ISO 50006:2016.

Список використаних джерел

- 1 ДСТУ Б В.2.2-39:2016 «Методи та етапи проведення енергетичного аудиту будівель»;
- 2 ДСТУ Б В.2.2-19:2007 «Метод визначення повітропроникності огорожувальних конструкцій в натуральних умовах»;
- 3 ДСТУ-Н Б В.2.6-191:2016 «Настанова з розрахункової оцінки повітропроникності огорожувальних конструкцій»;
- 4 ДСТУ Б EN 13187:2011 «Теплові характеристики будівель. Якісне виявлення теплових відмов в огорожувальних конструкціях. Інфрачервоний метод»;
- 5 ДСТУ Б EN 15251:2011. «Розрахункові параметри мікроклімату приміщень для проектування та оцінки енергетичних характеристик будівель по відношенню до якості повітря, теплового комфорту, освітлення та акустики»;
- 6 ДБН В.2.6-31-2021 «Теплова ізоляція та енергоефективність будівель»;
- 7 ДСТУ Б А.9190 «Енергетична ефективність будівель. Метод розрахунку енергоспоживання при опаленні, охолодженні, вентиляції, освітленні та гарячому водопостачанні»;
- 8 ДСТУ Б EN 15603:2013 «Енергетична ефективність будівель. Загальне енергоспоживання та проведення енергетичної оцінки (EN 15603:2008, IDT)»;
- 9 ДСТУ Б EN 15217:2012 «Енергоефективність будівель. Методи представлення енергетичних характеристик та енергетичної сертифікації будівель»;
- 10 ДСТУ Б EN 15316-1:2011 «Системи теплозабезпечення будівель. Методика розрахунку енергоспоживання та енергоефективності системи»;
- 11 ДБН В.2.5-64:2012 «Внутрішній водопровід та каналізація»;
- 12 ДБН В.2.5-67:2013 «Опалення, вентиляція та кондиціонування»;
- 13 ДСТУ ISO 50002:2016 «Енергетичні аудити. Вимоги та настанова щодо їх проведення»;
- 14 ДСТУ ISO 50004:2016 (ISO 50004:2014, IDT) «Настанова щодо впровадження, супровід та поліпшення системи енергетичного менеджменту»;

- 15 ДСТУ Б В.2.6-9191 «Методи вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будівель»;
- 16 ДСТУ-Н Б В.2.6-146:2010 «Конструкції будинків і споруд. Настанова щодо проектування й улаштування вікон та дверей»;
- 17 ДСТУ-Н Б А.2.2-13:2015 «Настанова з проведення енергетичної оцінки будівель»;
- 18 ДСТУ Б EN ISO 13790:2011 Енергоефективність будівель. Розрахунок енергоспоживання на опалення та охолодження (EN ISO 13790:2008, IDT);
- 19 ДБН В.2.5-28-2006 Інженерне обладнання будинків і споруд. Природне і штучне освітлення;
- 20 ДСТУ Б В.2.6-101:2010 Конструкції будинків і споруд. Метод визначення опору теплопередачі огорожувальних конструкцій;
- 21 ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 «Будівельна кліматологія»
- 22 ДСТУ Б EN ISO 13790:2011 Енергоефективність будівель. Розрахунок енергоспоживання на опалення та охолодження (EN ISO 13790:2008, IDT).
- 23 ДБН В.2.2-4:2018: Заклади дошкільної освіти»