

Український державний університет залізничного транспорту
Кафедра теплотехніки, теплових двигунів та енергетичного менеджменту

ОПТИМІЗАЦІЯ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ СИСТЕМИ ВЕНТИЛЯЦІЇ
КОМЕРЦІЙНОЇ БУДІВЛІ НА ОСНОВІ РЕЗУЛЬТАТІВ
ЕНЕРГЕТИЧНОГО АУДИТУ

Пояснювальна записка та розрахунки
до кваліфікаційної роботи магістра

КРМ 100.100.00.00.00 ПЗ

Розробила: студентка групи
216-ЕМ-Д25 спеціальності 144 (роботу
виконано самостійно, відповідно до
принципів академічної доброчесності)
Осадча М.О.

Керівник: к.т.н., доц.
Біловол Г.В.

Рецензент: к.т.н., доц.
Сумцов А.Л.

Харків – 2025 р.

обстеження обладнання теплового пункту; Перевірка повітропроникності огороджувальних конструкцій; Розроблення кейсу пропозицій щодо підвищення енергоефективності роботи системи вентиляції; Оптимізація режимів роботи та автоматизація вентиляційних систем; Автоматичне відключення подачі теплоносія до ПВУ при низькому теплоспоживанні; Оптимізація режимів роботи припливних вентиляційних установок; Підвищення ефективності допоміжних систем вентиляції; Модернізація системи зволоження повітря; Балансування та аеродинамічна оптимізація вентиляційних мереж; 5.3.1 Балансування системи вентиляції по всій будівлі; Підвищення ефективності очищення повітря в вентиляційних установках; Зменшення аеродинамічного опору витяжної системи В6; Резюме заходів; Висновки; Список використаних джерел.

5 Перелік графічного матеріалу

Презентація в програмному продукті Microsoft PowerPoint (17 слайдів)

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Нормоконтроль	Онищенко А.В., асист.		

7 Дата видачі завдання 23 липня 2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи магістра	Строк виконання етапів роботи	Примітка
	Пояснювальна записка		
	Загальні відомості про об'єкт енергетичного аудиту	23.09.25 - 30.09.25	
	Аналіз споживання енергетичних ресурсів у 2019-2024 роках	30.09.25- 11.10.25	
	Аналіз інженерно-технічного стану вентиляційних систем будівлі	15.10.25 - 25.11.25	
	Результати інструментальних вимірювань	27.11.25 - 10.12.25	
	Розроблення кейсу пропозицій щодо підвищення енергоефективності роботи системи вентиляції	10.12.25 - 17.12.25	
	Графічна частина	18.12.25 - 08.01.26	

Студентка


(підпис)

Осадча М.О
(прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи)


(підпис)

Біловол Г.В.
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Дана кваліфікаційна робота включає в себе 17 слайдів презентації, 97 аркуші пояснювальної записки формату А4, що включає 34 рисунки, 17 таблиць, 50 літературних джерел.

Ключові слова: ЕНЕРГЕТИЧНИЙ АУДИТ; СИСТЕМА ВЕНТИЛЯЦІЇ; КОМЕРЦІЙНА БУДІВЛЯ; ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ БУДІВЛІ; ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ; СИСТЕМИ ОПАЛЕННЯ, ВЕНТИЛЯЦІЇ ТА КОНДИЦІОНУВАННЯ; ПАРАМЕТРИ МІКРОКЛІМАТУ; ІНЖЕНЕРНІ СИСТЕМИ БУДІВЛІ; ОПТИМІЗАЦІЯ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ.

Об'єктом дослідження є системи вентиляції багатоповерхової комерційної будівлі з офісною функцією експлуатації. **Предметом дослідження** є технічний стан, режими роботи, енергоефективність та відповідність нормативним вимогам систем вентиляції.

Метою роботи є дослідження функціонування системи вентиляції комерційної будівлі, оцінювання її фактичної енергоефективності в реальних умовах експлуатації, а також обґрунтування техніко-енергетичних рішень з оптимізації енергоспоживання і забезпечення нормативного та комфортного мікроклімату.

Завдання роботи: проаналізувати технічний стан та принципи функціонування системи вентиляції комерційної будівлі; дослідити фактичне енергоспоживання будівлі та визначити частку систем опалення, вентиляції та кондиціонування у загальному енергетичному балансі; оцінити параметри мікроклімату та повітрообміну на основі результатів інструментальних вимірювань; проаналізувати режими експлуатації та ефективність роботи вентиляційного обладнання; обґрунтувати техніко-енергетичні заходи з оптимізації енергоспоживання системи вентиляції.

Під час підготовки та виконання проекту автор використовував інформацію, включаючи тексти, методи розрахунків, методологію дослідження та конкретні характеристики і параметри, знайдені в джерелах [1-30], 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, виключно для виконання цієї роботи.

Результати: Здійснено комплексний аналіз системи вентиляції комерційної будівлі з урахуванням фактичних умов експлуатації. Визначено структуру енергоспоживання будівлі та встановлено, що частка систем опалення, вентиляції та кондиціонування у загальному енергетичному балансі становить 65,1%. Проаналізовано режими роботи вентиляційного обладнання, та ефективність функціонування на основі даних інструментальних вимірювань і системи диспетчеризації. Оцінено відповідність параметрів мікроклімату нормативним вимогам та виявлено чинники нераціонального енергоспоживання. Обґрунтовано комплекс техніко-енергетичних заходів, реалізація яких дозволяє знизити річне енергоспоживання системи вентиляції на 15–25%, що підтверджує доцільність запропонованих рішень з точки зору енергоефективності та практичного впровадження.

ABSTRACT

This qualification work includes 17 presentation slides and 97 A4 pages of the explanatory note, which contains 34 figures, 17 tables, and 50 references.

Keywords: ENERGY AUDIT; VENTILATION SYSTEM; COMMERCIAL BUILDING; BUILDING ENERGY CONSUMPTION; ENERGY EFFICIENCY; HEATING, VENTILATION AND AIR CONDITIONING SYSTEMS; INDOOR MICROCLIMATE PARAMETERS; BUILDING ENGINEERING SYSTEMS; ENERGY CONSUMPTION OPTIMIZATION.

The **object of the study** is the ventilation systems of a multi-storey commercial building with an office function. The **subject of the study** is the technical condition, operating modes, energy efficiency, and compliance with regulatory requirements of ventilation systems.

The **aim of the work** is to study the operation of the ventilation system of a commercial building, assess its actual energy efficiency under real operating conditions, and substantiate technical and energy-related solutions for optimizing energy consumption and ensuring a compliant and comfortable indoor microclimate.

Objectives of the study: to analyze the technical condition and operating principles of the ventilation system of a commercial building; to investigate the actual energy consumption of the building and determine the share of heating, ventilation and air conditioning systems in the overall energy balance; to assess indoor microclimate and air exchange parameters based on the results of instrumental measurements; to analyze operating modes and the efficiency of ventilation equipment; and to substantiate technical and energy-related measures for optimizing the energy consumption of the ventilation system.

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 [1–30] cited in the references. In addition, the author was allowed to use information obtained during consultations with the project supervisor, academic staff, and other persons, consisting of unpublished original developments, exclusively for the purpose of completing this work.

Results: A comprehensive analysis of the ventilation system of a commercial building was carried out, taking into account actual operating conditions. The structure of the building's energy consumption was determined, and it was established that the share of heating, ventilation and air conditioning systems in the overall energy balance amounts to 65.1%. The operating modes and efficiency of the ventilation equipment were analyzed based on data from instrumental measurements and the building management system. Compliance of indoor microclimate parameters with regulatory requirements was assessed, and factors of inefficient energy consumption were identified. A set of technical and energy-related measures was substantiated, the implementation of which enables a reduction in the annual energy consumption of the ventilation system by 15–25%, confirming the feasibility of the proposed solutions in terms of energy efficiency and practical implementation.

Зміст

Вступ	7
1 Загальні відомості про об'єкт енергетичного аудиту	9
2. Аналіз споживання енергетичних ресурсів у 2019-2024 роках	13
2.1 Загальне споживання енергії та тарифна політика	13
2.2 Аналіз питомого енергоспоживання будівлі та міжнародний бенчмаркінг	16
2.3 Аналіз енергоспоживання системами опалення, вентиляції та кондиціонування	19
3 Аналіз інженерно-технічного стану вентиляційних систем будівлі	23
3.1 Принцип функціонування систем опалення, вентиляції та кондиціонування будівлі	23
3.2 Структура та схема роботи вентиляційної системи	24
3.3 Регулювання параметрів роботи системи вентиляції	29
3.4 Завдання інженерно-диспетчерського центру	33
3.5 Аналіз відгуків користувачів будівлі щодо рівня комфорту	38
3.6 Функціональні можливості інженерно-диспетчерського центру	46
3.7 Аналіз відгуків користувачів будівлі щодо рівня комфорту	48
4 Результати інструментальних вимірювань	51
4.1 Параметри мікроклімату та повітрообміну в офісних приміщеннях	51
4.1.1 Характеристика вимірювальних приладів	51
4.1.2 Аналіз первинних вимірювань параметрів мікроклімату та повітрообміну	52
4.1.3 Аналіз відповідності результатів вимірювань нормативним вимогам	55

					КРМ 100.055.00.00.00 ПЗ							
<i>Зм.</i>	<i>Арк</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>	Оптимізація енергоспоживання системи вентиляції комерційної будівлі на основі результатів енергетичного аудиту			<i>Літера</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>		
<i>Розробив</i>		Осадча М.О	<i>[Підпис]</i>								5	97
<i>Перев.</i>		Біловол Г.В.	<i>[Підпис]</i>									
<i>Н. контр.</i>		Онищенко А.В	<i>[Підпис]</i>									
<i>Затв.</i>		Василенко О.В.	<i>[Підпис]</i>		УкрДУЗТ							

4.2 Тепловізійне обстеження обладнання теплового пункту	61
4.3 Перевірка повітропроникності огорожувальних конструкцій	64
5 Розроблення кейсу пропозицій щодо підвищення енергоефективності роботи системи вентиляції	72
5.1 Оптимізація режимів роботи та автоматизація вентиляційних систем	72
5.1.1 Автоматичне відключення подачі теплоносія до ПВУ при низькому теплоспоживанні	72
5.1.2 Оптимізація режимів роботи припливних вентиляційних установок	74
5.2 Підвищення ефективності допоміжних систем вентиляції	75
5.2.1 Модернізація системи зволоження повітря	75
5.3 Балансування та аеродинамічна оптимізація вентиляційних мереж	78
5.3.1 Балансування системи вентиляції по всій будівлі	78
5.3.2 Підвищення ефективності очищення повітря в вентиляційних установках	79
5.3.3 Зменшення аеродинамічного опору витяжної системи В6	80
5.4 Резюме заходів	81
Висновки	86
Перелік використаних джерел	88
Додаток А. Фрагменти інтерфейсу SCADA-системи, використані при аналізі вентиляційних установок	92

					КРМ 100.100.00.00.00 ПЗ	Арк
						6
Зм	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		

Вступ

Створення безпечного та оптимального мікроклімату у сучасних адміністративних будівлях є однією з ключових функцій систем опалення, вентиляції та кондиціонування, які визначають якість внутрішнього середовища, рівень комфорту користувачів та відповідність приміщень санітарним і гігієнічним нормам. Особливе значення вентиляційних систем визначається тим, що саме вони забезпечують оновлення повітряного середовища, підтримують нормативні концентрації CO₂, регулюють вологість і температуру повітря, а також впливають на теплове навантаження будівлі в цілому.

Водночас вентиляція є одним із найбільш енергоємних інженерних компонентів будівлі, що зумовлює високу чутливість її експлуатаційних характеристик до підвищення вартості енергоресурсів та необхідності переходу будівельного сектору до енергоефективних і низьковуглецевих рішень. У багатофункціональних офісних будівлях частка споживання енергії системами вентиляції та кондиціонування може перевищувати 30–40 %, що підтверджує критичну важливість технічної оптимізації цих систем та впровадження сучасних енергоефективних технологій.

Додаткові вимоги до вентиляції були сформовані у період пандемії COVID-19, коли значно підвищилося значення кратності повітрообміну, якості фільтрації, контролю параметрів повітря та використання систем з рекуперацією тепла. У результаті міжнародні стандарти та нормативна база у сфері вентиляції зазнали суттєвого оновлення, а вимоги до вентиляційних систем в адміністративних будівлях фактично стали частиною комплексної політики енергоефективності та екологічної безпеки.

У зв'язку з цим актуальним є проведення детального аналізу систем вентиляції сучасних офісних будівель, їх технічних характеристик, режимів роботи, фактичної енергоефективності та відповідності нормативним вимогам.

Метою роботи є дослідження функціонування системи вентиляції комерційної будівлі, оцінювання її фактичної енергоефективності в реальних умовах експлуатації, а також обґрунтування техніко-енергетичних рішень з оптимізації енергоспоживання і забезпечення нормативного та комфортного мікроклімату.

Для досягнення поставленої мети в роботі необхідно вирішити такі **завдання**:

1. Проаналізувати принцип функціонування системи вентиляції в будівлі.
2. Дослідити фактичне енергоспоживання будівлі та частку систем опалення, вентиляції та кондиціонування у загальному енергетичному балансі.
3. Провести інструментальні вимірювання параметрів мікроклімату та повітрообміну в офісних приміщеннях і проаналізувати отримані результати.
4. Оцінити фактичну енергоефективність системи вентиляції з урахуванням режимів експлуатації та наявної системи регулювання.
5. Виявити основні експлуатаційні проблеми та фактори нераціонального енергоспоживання і погіршення якості повітря в приміщеннях.
6. Обґрунтувати техніко-енергетичні рішення щодо оптимізації енергоспоживання та підвищення якості повітря.

Об'єкт дослідження. Системи вентиляції багатоповерхової адміністративної будівлі з офісною функцією експлуатації.

Предмет дослідження. Технічний стан, режими роботи, енергоефективність та відповідність нормативним вимогам систем вентиляції адміністративних приміщень.

Перелік використаних джерел

1. ДБН В.2.6-31:2021. Теплова ізоляція та енергоефективність будівель. – Чинний від 01.09.2022. – Київ : Мінрегіон України, 2022.
2. ДБН В.1.1-7:2016. Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги. – Київ : Мінрегіон України, 2016.
3. ДБН В.2.5-28:2018. Природне і штучне освітлення. – Київ : Мінрегіон України, 2018.
4. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування. – Київ : Мінрегіон України, 2013.
5. ДБН В.2.6-220:2017. Покриття будинків і споруд. – Київ : Мінрегіон України, 2017.
6. ДБН В.2.6-33:2018. Конструкції зовнішніх стін з фасадною теплоізоляцією. – Київ : Мінрегіон України, 2018.
7. ДСТУ 9190:2022. Енергетична ефективність будівель. Метод розрахунку енергоспоживання при опаленні, охолодженні, вентиляції, освітленні та гарячому водопостачанні. – Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2022.
8. ДСТУ-Н Б А.2.2-13:2015. Енергетична ефективність будівель. Настанова з проведення енергетичної оцінки будівель. – Київ : Мінрегіон України, 2015.
9. ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010. Захист від небезпечних геологічних процесів, шкідливих експлуатаційних впливів, від пожеж. Будівельна кліматологія. – Київ : Мінрегіон України, 2010.
10. ДСТУ EN ISO 9972:2022. Теплові характеристики будівель. Визначення повітропроникності будівель. Метод герметизації (EN ISO 9972:2015, IDT; ISO 9972:2015, IDT). – Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2022.
11. ДСТУ Б В.2.2-39:2016. Будинки і споруди. Методи та етапи проведення енергетичного аудиту будівель. – Київ : Мінрегіон України, 2016.

12. ДСТУ Б В.2.6-34:2008. Конструкції будинків і споруд. Конструкції зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією. Класифікація і загальні технічні вимоги. – Київ : Мінрегіон України, 2008.

13. ДСТУ 9191:2022. Теплоізоляція будівель. Метод вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будівель. – Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2022.

14. ДСТУ EN ISO 10077-1:2022. Теплотехнічні властивості вікон, дверей і жалюзі. Розрахунок коефіцієнта теплопередачі. – Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2022.

15. ДСТУ EN ISO 52003-1:2022. Енергетичні характеристики будівель. Показники, вимоги, рейтинги та сертифікати. – Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2022.

16. ДСТУ EN 15459-1:2017. Енергоефективність будівель. Процедура економічного оцінювання енергетичних систем будівлі. – Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2017.

17. ДСТУ EN ISO 52000-1:2023. Енергоефективність будівель. Комплексне оцінювання енергоефективності будівель. – Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2023.

18. ДСТУ EN ISO 52016-1:2022. Енергетичні показники будівель. Потреби в енергії для опалення та охолодження, внутрішні температури, відчутні та приховані теплові навантаження. – Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2022.

19. Про затвердження Методики визначення енергетичної ефективності будівель : наказ Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України від 11.07.2018 № 169 ; зареєстровано в Міністерстві юстиції України 16.07.2018 за № 822/32274.

20. Про затвердження мінімальних вимог до енергетичної ефективності будівель : наказ Міністерства розвитку громад та територій України від 27.10.2020 № 260 ; зареєстровано в Міністерстві юстиції України 18.12.2020 за № 1257/35540.

21. European Commission. Building Stock Observatory. Energy Performance of Buildings Directive (EPBD), 2024.

22. REHVA. Federation of European Heating, Ventilation and Air Conditioning Associations. EN 16798 Standards Implementation Guide, 2023.
23. International Energy Agency (IEA). Energy Efficiency 2024: Buildings Sector Analysis.
24. World Health Organization (WHO). Roadmap to improve and ensure good indoor ventilation in the context of COVID-19, 2021.
25. CBRE Ukraine, Colliers International Ukraine. Office Market Overview 2023-2024.
26. USGBC. LEED v4.1 Building Design and Construction Guide, 2023.
27. BREEAM. BREEAM International New Construction Technical Manual, 2024.
28. WELL Building Standard v2. WELL Certification Guidebook, 2023.
29. Markets and Markets. HVAC Systems Market - Global Forecast to 2030, 2024.
30. ASHRAE. Standard 62.1-2022: Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality.
31. Державні будівельні норми України ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування.
32. CEN. EN 13779:2007 (replaced by EN 16798 series). Ventilation for non-residential buildings.
33. ASHRAE. Guideline 36-2021: High-Performance Sequences of Operation for HVAC Systems.
34. ISO 50001:2018. Energy management systems – Requirements with guidance for use.
35. Carrier. Engineering Guide for Air Handling Units, 39HH/39HX Series. 2022.
36. Alfa Laval. Technical Handbook for Plate Heat Exchangers, M-series. 2021.
37. Grundfos. HVAC Applications Manual: Circulator Pumps in Commercial Buildings. 2023.

38. Fanger, P. O. (2001). Human requirements in future air-conditioned environments. *International Journal of Refrigeration*.
39. Pérez-Lombard, L., Ortiz, J., & Pout, C. (2008). A review on buildings energy consumption information. *Energy and Buildings*.
40. Eurovent. Recommendation 4/23: Energy Efficiency Classification for Air Handling Units. 2023.
41. CEN. EN 13053:2021. Ventilation for buildings – Air handling units – Rating and performance for units, components and sections.
42. CIBSE. Guide B: Heating, Ventilating, Air Conditioning and Refrigeration. 2022.
43. Seppänen, O., Fisk, W. J., & Lei, Q. H. (2006). Ventilation and performance in office work. *Indoor Air*.
44. IEA EBC Annex 79: Occupant-Centric Building Design and Operation. Final Report, 2024.
45. DIN 1946-6:2019. Ventilation and air conditioning – Part 6: Ventilation for residential buildings – General requirements, requirements for measuring, performance and labeling, delivery/acceptance (certification) and maintenance.
46. Merlin (Sahara). Technical Data Sheet: Ultrasonic Humidifier FORTE Series. 2024.
47. Danfoss. Engineering Guide: Pressure Independent Control Valves (PICV) in HVAC Systems. 2023.
48. UL Standards. UL 60335-2-88: Household and Similar Electrical Appliances – Safety – Part 2-88: Particular requirements for humidifiers.
49. Building Services Research and Information Association (BSRIA). Rules of Thumb: HVAC Guidelines for Preliminary Design. 2020.
50. IPCC. Sixth Assessment Report (AR6): Climate Change 2022 – Mitigation of Climate Change. Chapter 9: Buildings.