

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна
Навчально-науковий інститут «Українська інженерно-педагогічна академія»
Кафедра електротехніки та електроенергетики

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

магістра

на тему

ЕНЕРГЕТИЧНИЙ АУДИТ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ
БАГАТОКВАРТИРНОГО БУДИНКУ З ВИКОРИСТАННЯМ
ПРОГРАМНОГО СЕРЕДОВИЩА CADEE.PRO

(тема кваліфікаційної роботи)

Виконав: студент 2 маг. курсу, групи ДЕС-24 мг
Спеціальності: 141 Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка

_____/Ігор ЧУМЕНКО
(підпис) (ім'я та прізвище)

Керівник _____/Юлія ОЛІЙНИК
(підпис) (ім'я та прізвище)

Рецензент _____/Світлана АРТЮХ
(підпис) (ім'я та прізвище)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри _____/Артем ЧЕРНЮК
(підпис) (ім'я та прізвище)

Секретар ЕК _____/Ігор КИРИСОВ
(підпис) (ім'я та прізвище)

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ В. Н. КАРАЗІНА**

Навчально – науковий інститут Українська інженерно-педагогічна академія
Кафедра електротехніки та електроенергетики
Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
Освітньо-професійна програма Електричні станції, мережі та системи

**ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри**

(підпис)

к.т.н., доцент Артем ЧЕРНЮК
(науковий ступінь, вчене звання, ім'я, прізвище)

«___» _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ

**на кваліфікаційну роботу дипломну роботу
другого (магістерського) рівня вищої освіти**

здобувачу вищої освіти Ігорю ЧУМЕНКУ

1. Тема «Енергетичний аудит системи електропостачання багатоквартирного будинку з використанням програмного середовища CADEE.pro»
затверджена наказом по університету № 4801-5/3664 від «06» жовтня 2025 р.
2. Термін здачі закінченої роботи «15» грудня 2025 р.
3. Вихідні дані до роботи/проєкту: тип будівлі: багатоквартирний житловий будинок; поверховість та кількість під'їздів; загальна та опалювана площа будівлі; рік введення в експлуатацію; кліматичний район розташування; категорія надійності електропостачання.
4. Зміст роботи/проєкту (перелік питань, які належить розробити):
ВСТУП; РОЗДІЛ 1. ФУНДАМЕНТАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ ЕНЕРГОАУДИТУ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ; РОЗДІЛ 2. ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТА ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ВИХІДНІ ДАНІ ДЛЯ ЕНЕРГЕТИЧНОГО АУДИТУ; РОЗДІЛ 3. РОЗРАХУНОК ТЕПЛОТЕХНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК БУДІВЛІ В CADEE.pro; ВИСНОВКИ
5. Перелік графічного матеріалу (презентаційний матеріал):
Слайди презентації

6. Консультант:

Розділ	Консультант	Підпис, дата		Оцінка (бали)
		Завдання видав	Завдання прийняв	

7. Дата видачі завдання «12» жовтня 2025 р.

Керівник

(підпис)

Юлія ОЛІЙНИК

(ім'я, прізвище)

Завдання прийняв до виконання

(підпис)

Ігор ЧУМЕНКО

(ім'я, прізвище)

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН-ГРАФІК
виконання кваліфікаційної дипломної роботи

№ з/ п	Назва етапів роботи та питань, які мають бути розроблені відповідно до завдання	Термін виконання	Позначки керівника про виконання завдань
1	Визначення актуальності теми дослідження	12.10.25 – 15.10.25	
2	Проведення аналізу наукової літератури	16.10.25 – 23.10.25	
3	Виконання першого розділу магістерської кваліфікаційної роботи	24.10.25– 01.11.25	
4	Виконання другого та третього розділу магістерської кваліфікаційної роботи	02.11.25 – 26.11.25	
5	Оформлення пояснювальної записки	27.11.25 – 07.12.25	
6	Підготовка доповіді, презентації до захисту	08.12.25- 15.12.25	

Студент (ка)

(підпис)

Ігор ЧУМЕНКО

(ім'я, прізвище)

РЕФЕРАТ

до магістерської роботи на тему

«Енергетичний аудит системи електропостачання багатоквартирного будинку з використанням програмного середовища CADEE.pro»

ЧУМЕНКА ІГОРЯ

Магістерська робота виконана на 67 сторінок, містить 7 таблиць, 1 рисунок, що характеризують результати дослідження, використано літературних джерел 18

Магістерська робота присвячена проведенню енергетичного аудиту системи електропостачання багатоквартирного житлового будинку з метою підвищення енергоефективності, оптимізації електроспоживання та зниження експлуатаційних витрат.

Розглянуто фундаментальні положення енергетичного аудиту, включно з методологією проведення аналізу, нормативно-правовими вимогами, сучасними стандартами та міжнародними підходами до енергоефективності будівель. Було обґрунтовано вибір методів оцінки режимів роботи системи електропостачання та критеріїв її ефективності.

Здійснено розрахунок теплотехнічних характеристик будівлі з використанням програмного середовища CADEE.pro, що дало змогу визначити тепловтрати, профілі споживання електроенергії та потенціал енергозбереження. Розрахунки підтвердили необхідність модернізації окремих конструктивних елементів та систем електропостачання для зменшення енергоспоживання.

За результатами дослідження встановлено, що комплексне впровадження технічних та організаційних рішень дозволяє значно знизити енергоспоживання, зменшити експлуатаційні витрати та підвищити надійність і безпеку електропостачання багатоквартирного будинку.

**ЕНЕРГЕТИЧНИЙ АУДИТ, БАГАТОКВАРТИРНИЙ БУДИНОК,
ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ, ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ, CADEE.PRO,
МОДЕЛЮВАННЯ, ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ,
ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ**

ABSTRACT

to a master's thesis on

«Energy audit of the power supply system of an apartment building using the CADEE.pro software environment»

CHUMENKO IHOR

The master's work is executed on 67 pages, contains 7 tables, 1 drawings, which characterize the results of research, additions, used literary sources 18

The master's thesis is devoted to conducting an energy audit of the power supply system of an apartment building with the aim of increasing energy efficiency, optimizing electricity consumption and reducing operating costs.

The fundamental provisions of the energy audit are considered, including the methodology of the analysis, regulatory and legal requirements, modern standards and international approaches to the energy efficiency of buildings. The choice of methods for evaluating the modes of operation of the power supply system and criteria for its efficiency was substantiated.

The calculation of the thermal characteristics of the building was carried out using the CADEE.pro software environment, which made it possible to determine heat losses, electricity consumption profiles and energy saving potential. Calculations confirmed the need to modernize individual structural elements and power supply systems to reduce energy consumption.

According to the results of the study, it was established that the comprehensive implementation of technical and organizational solutions allows to significantly reduce energy consumption, reduce operating costs and increase the reliability and safety of electricity supply to an apartment building.

ENERGY AUDIT, APARTMENT BUILDING, ELECTRICITY SUPPLY,
ENERGY EFFICIENCY, CADEE.PRO, MODELING, ECONOMIC
EFFICIENCY, ENERGY SAVING

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ	7
ВСТУП	8
РОЗДІЛ 1. ФУНДАМЕНТАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ ЕНЕРГОАУДИТУ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ	11
1.1. Сучасні проблеми енергоефективності житлового фонду України	11
1.2. Електричні навантаження в багатоквартирних будинках: класифікація та особливості формування	12
1.3. Методи та підходи енергетичного аудиту систем електропостачання	15
1.4. Показники енергоефективності систем електропостачання житлових будівель	18
1.5. Нормативно-правове забезпечення енергетичного аудиту (ДБН, ДСТУ, EN, ISO)	22
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 1	26
РОЗДІЛ 2. ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТА ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ВИХІДНІ ДАНІ ДЛЯ ЕНЕРГЕТИЧНОГО АУДИТУ	28
2.1. Загальна характеристика будівлі (архітектурно- планувальні рішення)	28
2.2. Схема електропостачання будинку та технічний стан обладнання	29
2.3. Електричні навантаження та споживачі електроенергії	31
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 2	33
РОЗДІЛ 3. РОЗРАХУНОК ТЕПЛОТЕХНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК БУДІВЛІ В CADEE.pro	35
3.1. Архітектурно-конструктивні параметри будівлі та вихідні дані	35
3.1.1. Зовнішні стіни	35

3.1.2. Покрівля (плоский дах)	38
3.1.3. Перекриття над холодним підвалом	40
3.1.4. Вікна	41
3.2. Методика проведення теплотехнічного аналізу в CADEE.pro	42
3.3. Результати теплотехнічного аналізу огорожувальних конструкцій	43
3.3. Результати теплотехнічного аналізу огорожувальних конструкцій	45
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 3	47
РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА ТА ОЦІНКА ЗАХОДІВ З ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ	49
4.1. Виявлені проблеми та потенціал енергозбереження	49
4.2. Інженерно-технічні заходи підвищення енергоефективності (модернізація мереж, обладнання, освітлення)	51
4.3. Організаційно-технологічні заходи (управління навантаженнями, графіки роботи, тарифні рішення)	54
4.4. Моделювання роботи системи після впровадження заходів у CADEE.pro	56
4.5. Розрахунок економічної ефективності та термінів окупності запропонованих рішень	58
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 4	61
ВИСНОВКИ Й РЕКОМЕНДАЦІЇ	63
СПИСОК ПОСИЛАНЬ	66

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ЕЕ – електрична енергія

ЛЕП – лінії електропередавання

ПЛЕП - -повітряні лінії електропередавання

ЯЕЕ – якість електричної енергії

Т – силовий трансформатор

ТС – трансформатор струму

ТН – трансформатор напруги

ТП – трансформаторна підстанція

ККД – коефіцієнт корисної дії

АВР – автоматичне включення резерву

АСКОЕ - автоматизована система контролю та обліку електроенергії

ІТП – індивідуальний тепловий пункт

ДБН – держані будівельні норми

ДСТУ – державний стандарт України

ПУЕ – правила улаштування електроустановок

ВСТУП

Актуальність.

Сучасний житловий фонд України характеризується значним рівнем зносу інженерних мереж, високими питомими витратами енергоресурсів та низьким рівнем впровадження енергоефективних технологій. Особливо це стосується систем електропостачання багатоквартирних будинків, де внаслідок застарілого обладнання, нераціональних режимів роботи, перевантаження окремих елементів та відсутності належного технічного контролю виникають значні втрати електричної енергії. У контексті зростання тарифів на електроенергію та необхідності підвищення енергонезалежності будівель проведення комплексного енергетичного аудиту є важливим інструментом оптимізації споживання та підвищення ефективності роботи електроенергетичних систем.

Використання сучасних програмних платформ для аналізу енергоспоживання, таких як CADEE.pro, відкриває нові можливості для моделювання електричних навантажень, визначення вузьких місць системи, оцінки технічного стану обладнання та обґрунтування можливих заходів з підвищення енергоефективності. Платформа дозволяє інтегрувати дані електровимірювань, розрахункових моделей та нормативних характеристик для виконання всебічного енергетичного аналізу. Таким чином, застосування CADEE.pro у процесі енергетичного аудиту багатоквартирного будинку є актуальним і відповідає сучасним вимогам до цифровізації енергетичного сектору.

Актуальність обраної теми зумовлена потребою зменшення витрат електроенергії, оптимізації режимів роботи систем електропостачання житлових будівель, подовження терміну експлуатації обладнання та забезпечення високої якості електричної енергії відповідно до чинних стандартів. Енергетичний аудит дозволяє не лише встановити фактичний стан енергоспоживання, але й визначити потенціал для впровадження технічних і організаційних заходів, що забезпечують підвищення енергоефективності.

Метою магістерської роботи є проведення комплексного енергетичного аудиту системи електропостачання багатоквартирного будинку з використанням програмного середовища CADEE.pro для визначення резервів зниження енергоспоживання та підвищення енергоефективності.

Об'єкт дослідження - система електропостачання багатоквартирного житлового будинку.

Предмет дослідження - процеси формування електричних навантажень, втрати електричної енергії, технічний стан елементів системи електропостачання та методи їх аналізу з використанням інструментів CADEE.pro.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- ✓ Проаналізувати архітектуру та принципи роботи системи електропостачання обраного багатоквартирного будинку.
- ✓ Виконати збір і систематизацію вихідних даних, включно з характеристиками електричних мереж, навантажень та обладнання.
- ✓ Здійснити моделювання електричних процесів у середовищі CADEE.pro та визначити основні енергетичні показники.
- ✓ Оцінити технічні та комерційні втрати електроенергії.
- ✓ Виявити вузькі місця (bottlenecks) у схемі електропостачання та визначити основні фактори неефективності.
- ✓ Проаналізувати якість електричної енергії та відповідність показників чинним нормативам.
- ✓ Розробити та обґрунтувати комплекс заходів з підвищення енергоефективності системи електропостачання.
- ✓ Оцінити економічну ефективність запропонованих заходів і визначити терміни їх окупності.

Наукова новизна полягає у застосуванні інструментів цифрового моделювання CADEE.pro для створення комплексної методики енергетичного аудиту багатоквартирних будинків, що дозволяє підвищити точність оцінки

втрат, оптимізувати параметри електропостачання та формувати технічно обґрунтовані рекомендації щодо модернізації системи.

Магістерська кваліфікаційна робота на тему «Енергетичний аудит системи електропостачання багатоквартирного будинку з використанням програмного середовища CADEE.pro» складається з таких частин: перелік умовних позначень, вступ, три розділи, висновки, список посилань.

РОЗДІЛ 1. ФУНДАМЕНТАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ ЕНЕРГОАУДИТУ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

1.1. Сучасні проблеми енергоефективності житлового фонду України

Енергоефективність житлового фонду України залишається одним із ключових викликів у сфері енергетичної політики, житлово-комунального господарства та сталого розвитку. Більшість житлових будівель, зведених у період з 1950-х по 1990-ті роки, не відповідають сучасним вимогам щодо теплозахисту, економного використання електричної енергії та раціонального управління інженерними системами. Це призводить до значних перевитрат енергоресурсів, підвищених експлуатаційних витрат та збільшення навантаження на об'єднані енергетичні системи.

Однією з головних проблем житлового фонду є фізичне та моральне старіння будівель і їх інженерних мереж, зокрема систем електропостачання. Значна частина житлових будинків має застарілу електропроводку, низьку якість електрифікації квартир, недостатнє або нерівномірне освітлення місць загального користування, що знижує загальну ефективність використання електроенергії. Зношеність електрообладнання також спричиняє підвищені технічні втрати, зниження рівня електробезпеки та збільшення аварійності.

Наступною проблемою є відсутність системного підходу до управління енергоспоживанням у багатоквартирних будинках. У більшості житлових будівель немає локальних систем моніторингу електроспоживання, а облік ведеться за загальнодомовими лічильниками або індивідуальними приладами без можливості аналізу добових чи сезонних коливань навантажень. Така ситуація ускладнює виявлення нераціональних патернів споживання та планування заходів з підвищення енергоефективності.

Крім технічних проблем, важливим чинником є низька культура енергоспоживання населення. Недостатня поінформованість мешканців щодо енергоощадних технологій, економічних переваг модернізації електросистем та потенціалу енергозбереження призводить до перевитрат електроенергії у

побуті. Водночас відсутність мотиваційних механізмів (тарифних стимулів, компенсацій, програм підтримки) обмежує ініціативи з енергомодернізації житлового фонду.

Важливим аспектом є також невідповідність частини житлових будівель сучасним нормам щодо енергоефективності, зокрема вимогам ДБН щодо теплозахисту, систем освітлення, електропостачання та інженерних мереж. Внаслідок цього в енергетичному балансі багатоквартирних будинків домінують втрати, спричинені низьким коефіцієнтом корисної дії обладнання та високими непродуктивними витратами електроенергії.

Ситуацію ускладнюють і зовнішні фактори - зростання навантаження на електричні мережі, викликане активним поширенням електротранспорту, електроплит, електрообігрівачів та іншого енергоємного обладнання. За відсутності модернізації внутрішніх електромереж це призводить до частих перевантажень, просідань напруги та збільшення втрат.

Таким чином, житловий фонд України стикається з комплексом проблем, які знижують ефективність роботи систем електропостачання: технічний стан мереж, відсутність енергомоніторингу, низька культура споживання, використання застарілих приладів, зростання навантаження та невідповідність будівель сучасним нормам. Подолання цих проблем вимагає системного підходу, що включає проведення енергетичного аудиту, впровадження цифрових інструментів моніторингу та модернізацію електротехнічної інфраструктури.

1.2. Електричні навантаження в багатоквартирних будинках: класифікація та особливості формування

Електричні навантаження у багатоквартирних житлових будинках становлять сукупність сумарного споживання електроенергії мешканцями та інженерними системами будівлі протягом певного періоду часу. Їх структура й динаміка визначають якість електропостачання, енергоефективність будівлі та рівень технічних втрат у внутрішньобудинкових мережах. Для проведення

енергетичного аудиту важливо не лише оцінити величину навантажень, а й визначити закономірності їх формування та вплив на функціонування систем електропостачання.

Класифікація електричних навантажень

В житлових будівлях електричні навантаження класифікують за такими основними ознаками:

1. За функціональним призначенням:

Побутові навантаження квартир, що формуються внаслідок роботи:

- ✓ освітлювальних приладів;
- ✓ побутової техніки (холодильники, пральні машини, кондиціонери, телевізори);
- ✓ кухонного електрообладнання (електроплити, мікрохвильові печі тощо);
- ✓ пристроїв індивідуального електроопалення або підігріву води.

Навантаження місць загального користування, включаючи:

- ✓ освітлення сходових кліток та коридорів;
- ✓ ліфтове обладнання;
- ✓ системи диспетчеризації та відеонагляду;
- ✓ роботу насосного обладнання, вентиляційних систем, домофонів.

Інженерні системи будинку, до яких належать:

- ✓ системи пожежної безпеки;
- ✓ системи автоматизації та управління;
- ✓ обладнання дахових котелень та ІТП (у сучасних будівлях).

2. За характером зміни навантаження у часі:

Стабільні (постійнодіючі) — холодильники, сервери, системи охорони.

Змінні та короткочасні — електрочайники, мікрохвильові печі, пральні машини.

Пікові навантаження, що виникають у ранкові та вечірні години, коли більшість мешканців активно користується електроприладами.

3. За електротехнічними характеристиками:

- ✓ Активні навантаження (освітлення, електронагрівальні прилади).
- ✓ Індуктивні навантаження (електромотори ліфтів, вентиляція).
- ✓ Нелінійні навантаження, що створюють гармонічні спотворення (персональні комп'ютери, імпульсні блоки живлення, LED-драйвери).

Особливості формування електричних навантажень у багатоквартирних будинках

Електричні навантаження у житлових будівлях формуються під впливом низки факторів технічного, соціального та економічного характеру:

1. Людський фактор та побутові звички

Основна частина навантаження залежить від поведінки мешканців: режимів користування побутовими приладами, кількості обладнання, стилю життя (робота вдома, наявність дітей, тривалість перебування у квартирі). Саме тому графік навантаження має яскраво виражений піковий характер.

2. Технічний стан електромереж і обладнання

Зношеність внутрішньобудинкових мереж, застаріла електропроводка та відсутність сучасних систем автоматизації призводять до підвищених технічних втрат, перегрівів та нерівномірності навантаження по фазах.

3. Архітектурно-планувальні особливості будівлі

Тип будівлі (панельна, цегляна, монолітна), рік введення в експлуатацію, проектна кількість квартир і їх площа впливають на структуру електроспоживання та розрахункові величини навантажень.

4. Комплектація квартир електроприладами

Сучасні квартири споживають суттєво більше електроенергії через наявність:

- ✓ кондиціонерів,
- ✓ електричного підігріву підлоги,
- ✓ електричних бойлерів,
- ✓ побутових приладів преміум-класу,
- ✓ зарядних станцій для електротранспорту.

5. Сезонність

У зимовий період спостерігається зростання електроспоживання через:

- ✓ додаткове використання електрообігрівачів,
- ✓ збільшення тривалості штучного освітлення.

6. Пікові навантаження

Типовий графік електроспоживання багатоквартирного будинку характеризується двома піками:

- ✓ ранковим (07:00–10:00), коли мешканці готуються до робочого дня;
- ✓ вечірнім (18:00–23:00), коли активність зростає після повернення з роботи.

Електричні навантаження в багатоквартирних будинках мають складну структуру та значну змінність, формуються під впливом широкого спектра факторів та потребують детального аналізу для проведення енергетичного аудиту. Їх характер визначає вибір методів моделювання, розрахунку втрат та оцінювання енергоефективності. Розуміння класифікації та закономірностей формування навантажень є ключовим для оптимізації систем електропостачання, підвищення їх надійності та зменшення витрат електроенергії у житловому секторі.

1.3. Методи та підходи енергетичного аудиту систем електропостачання

Енергетичний аудит систем електропостачання багатоквартирних будинків є комплексним процесом, спрямованим на визначення рівня енергоспоживання, виявлення неефективних елементів електромережі та розроблення заходів з підвищення енергоефективності. У сучасній практиці застосовується широкий спектр методів, які охоплюють технічний аналіз мереж, інструментальні вимірювання, моделювання та прогнозування. Поєднання цих підходів забезпечує об'єктивну оцінку стану будівлі та можливість прийняття обґрунтованих рішень щодо її модернізації.

Аналітичні та розрахункові методи

Аналітичні методи становлять основу енергоаудиту, адже дозволяють оцінити електроспоживання будівлі на основі проектної документації, технічних паспортів, статистики та експлуатаційних даних. Основними інструментами є:

- ✓ розрахунок установленної, максимальної та середньодобової потужності;
- ✓ побудова графіків електричних навантажень;
- ✓ аналіз коефіцієнтів використання та заповнення графіка навантажень;
- ✓ оцінювання технічних втрат у кабельних лініях та обладнанні;
- ✓ розрахунок коефіцієнта потужності та реактивних навантажень.

Аналітичні методи забезпечують початкове уявлення про характер енергоспоживання та дозволяють визначити потенційні зони втрат.

Інструментальні методи вимірювання

Інструментальні вимірювання є ключовим елементом енергетичного аудиту, оскільки дозволяють отримати фактичні, а не розрахункові дані. До основних інструментів належать:

- ✓ реєстратори електричної потужності та енергії;
- ✓ аналізатори якості електроенергії (АЯЕ);
- ✓ струмові кліщі та мультиметри;
- ✓ тепловізійні камери для виявлення перегрівів та проблем контактів.
- ✓ Інструментальні методи дають змогу оцінити:
- ✓ коливання напруги та частоти;
- ✓ розподіл навантажень по фазах;
- ✓ наявність гармонічних спотворень;
- ✓ пікові навантаження та нераціональні режими роботи обладнання;
- ✓ перегіви та зони підвищених втрат.

Моделювання та цифрові інструменти енергоаудиту

З появою сучасних програмних засобів, таких як CADEE.pro, DOF-ENERGY, DIALux, RETScreen та інші, моделювання стало невід'ємним елементом енергетичного аудиту. Програмні комплекси дозволяють:

- ✓ будувати цифрові моделі електросистеми будівлі;
- ✓ оцінювати енергетичні баланси та втрати;
- ✓ аналізувати вплив модернізаційних заходів;
- ✓ моделювати сценарії енергоспоживання;
- ✓ порівнювати ефективність різних технічних рішень.

Застосування CADEE.pro забезпечує можливість виконання теплотехнічних розрахунків, аналізу оболонки будівлі, визначення приведенного теплового опору та оцінки втрат через огорожувальні конструкції, що доповнює електротехнічний аудит комплексним підходом.

Експертний та діагностичний методи

Експертний підхід ґрунтується на досвіді та кваліфікації аудитора, який може:

- ✓ виявити недоліки системи без повного інструментального аналізу;
- ✓ оцінити відповідність стану мереж чинним нормам ДБН, ПУЕ, ДСТУ;
- ✓ визначити пріоритетні напрямки модернізації;
- ✓ здійснити порівняльний аналіз з аналогічними об'єктами.

Діагностичні методи включають огляд щитового обладнання, перевірку контактних з'єднань, оцінку зношення кабельних систем і відповідності їх струмовим навантаженням.

Нормативно-регламентний аналіз

Енергоаудит електропостачання повинен здійснюватися у відповідності до нормативних документів. Основні з них:

- ✓ ДБН В.2.5-23:2010 «Електрообладнання»;
- ✓ ДСТУ EN 16247 «Енергетичний аудит»;
- ✓ ПУЕ (Правила улаштування електроустановок);

- ✓ ДБН В.2.6-31:2021 «Теплова ізоляція будівель»;
- ✓ Закон України «Про енергетичну ефективність» (2021).

Нормативний аналіз дозволяє оцінити відповідність системи електропостачання вимогам енергоефективності, безпеки та сучасним стандартам експлуатації.

Комплексний підхід у сучасному енергоаудиті

Найбільш ефективним є поєднання всіх методів у рамках комплексного енергоаудиту, який передбачає:

- ✓ Збір вихідних даних та паспортів обладнання.
- ✓ Інструментальні вимірювання навантажень і параметрів електроенергії.
- ✓ Побудову математичних і програмних моделей.
- ✓ Аналіз енергетичних балансів електротехнічної системи.
- ✓ Теплотехнічні розрахунки й оцінку огорожувальних конструкцій (для CADEE.pro).
- ✓ Визначення потенціалу енергозбереження.
- ✓ Розроблення рекомендацій щодо модернізації.

Такий підхід забезпечує достовірність результатів і дозволяє оцінити енергоефективність будівлі як комплексної системи.

Методи та підходи енергетичного аудиту систем електропостачання охоплюють широке коло інструментів: від аналітичних і діагностичних до цифрового моделювання та нормативного аналізу. Їх поєднання дозволяє отримати повну картину енергетичних процесів у будівлі, визначити джерела втрат та сформулювати технічно та економічно обґрунтовані рекомендації щодо підвищення енергоефективності.

1.4. Показники енергоефективності систем електропостачання житлових будівель

Оцінювання енергоефективності систем електропостачання житлових будівель базується на комплексі технічних, експлуатаційних та економічних

показників, що характеризують рівень раціонального використання електричної енергії, величину технічних втрат, якість електроенергії та ефективність роботи інженерних систем. Аналіз цих показників дозволяє визначити ступінь енергетичної досконалості будівлі, рівень її відповідності нормативним вимогам, а також потенціал для впровадження заходів з енергозбереження та модернізації.

Коефіцієнти електричного навантаження

До основних показників, що характеризують режим роботи системи електропостачання будівлі, належать:

✓ Коефіцієнт використання електричних навантажень (K_u) показує відношення середньої потужності до максимальної. Низьке значення K_u свідчить про нерівномірність навантаження та високі пікові величини, що негативно впливають на електромережу.

✓ Коефіцієнт завантаження трансформаторів та кабельних ліній відображає відповідність фактичних режимів проектним. Коефіцієнт одночасності визначає рівень збігу пікових навантажень різних споживачів.

Чим він вищий - тим сильніше навантажуються мережі.

Параметри якості електричної енергії

Енергоефективність неможлива без забезпечення нормативної якості електроенергії. Основні показники:

- ✓ Рівень напруги та відхилення від номіналу;
- ✓ Не симетрія напруги по фазах;
- ✓ Гармонічні спотворення (THD);
- ✓ Провали, перенапруги, імпульсні завади;
- ✓ Показники частоти (для автономних систем).

Незадовільна якість електроенергії спричиняє:

- ✓ зниження ККД обладнання,
- ✓ нагрівання кабелів,
- ✓ зменшення ресурсу електроприладів,
- ✓ збільшення технічних втрат.

Енергетичні та технічні втрати

Оцінювання втрат у внутрішньобудинкових мережах є ключовим аспектом енергоефективності.

Використовують:

- ✓ технічні втрати (у кабелях, контактних з'єднаннях, трансформаторах, електрощитовому обладнанні);
- ✓ нетехнічні втрати (помилки обліку, несанкціоновані підключення).

Показниками ефективності є:

- ✓ частка втрат у загальному обсязі електроспоживання будинку,
- ✓ питомі втрати електроенергії.

Питомі показники електроспоживання будівлі

Для оцінки ефективності електроспоживання використовують питомі показники:

1. Питоме електроспоживання будівлі, кВт·год/м²·рік;
2. Питомі витрати на освітлення місць загального користування;
3. Енергетична інтенсивність квартирної споживання;

Питомі витрати на інженерні системи будинку (вентиляція, ліфти, насосне обладнання).

Ці показники дозволяють:

- ✓ порівняти різні будівлі,
- ✓ оцінити відповідність нормам ДСТУ EN 16247 та ДБН,
- ✓ виявити резерви енергозбереження.

Показники ефективності роботи обладнання

Важливими індикаторами є:

- ✓ ККД силового обладнання та трансформаторів;
- ✓ Ефективність освітлювальних систем (люмени/Вт);
- ✓ Ефективність роботи електродвигунів ліфтового та вентиляційного обладнання;
- ✓ Коефіцієнт потужності ($\cos \varphi$).

Особливо значущим є підвищення коефіцієнта потужності, адже низьке значення $\cos \varphi$ призводить до зростання струмів, перегрівів кабелів та додаткових втрат.

Показники автоматизації та управління

Сучасні вимоги до енергетичної ефективності включають аналіз:

- ✓ наявності систем автоматичного освітлення,
- ✓ датчиків руху та освітленості,
- ✓ інтелектуальних лічильників,
- ✓ систем моніторингу електроспоживання,
- ✓ автоматизованого керування інженерними системами (BMS).

Будівлі з низьким рівнем автоматизації мають значно вищі непродуктивні витрати електроенергії.

Економічні показники енергоефективності

Економічна складова дозволяє оцінити доцільність модернізації:

- ✓ термін окупності заходів (Payback Period);
- ✓ чиста приведена вартість (NPV);
- ✓ внутрішня норма рентабельності (IRR);
- ✓ зниження експлуатаційних витрат після впровадження заходів.

Ці показники є ключовими при ухваленні рішень ОСББ або керуючими компаніями.

Показники енергоефективності систем електропостачання житлових будівель охоплюють технічні, експлуатаційні, економічні та якісні аспекти використання електроенергії. Їх комплексний аналіз дозволяє:

- ✓ оцінити реальний стан електричних мереж;
- ✓ визначити рівень енергетичних втрат;
- ✓ виявити вузькі місця та нераціональне споживання;
- ✓ обґрунтувати заходи енергомодернізації;
- ✓ забезпечити відповідність будівлі сучасним стандартам енергозбереження.

Таким чином, система електропостачання житлового будинку може вважатися енергоефективною лише тоді, коли параметри навантажень, якість електроенергії та технічні втрати оптимізовані, а рівень автоматизації та управління відповідає сучасним вимогам.

1.5. Нормативно-правове забезпечення енергетичного аудиту (ДБН, ДСТУ, EN, ISO)

Нормативно-правове забезпечення енергетичного аудиту відіграє ключову роль у регламентації процесів оцінювання енергоефективності будівель, визначення вимог до проведення вимірювань, складання технічної документації та впровадження заходів енергомодернізації. В Україні нормативна база активно гармонізується з європейськими стандартами EN та міжнародними стандартами ISO, що забезпечує відповідність сучасним підходам до енергоефективності та технічного регулювання.

Національне нормативно-правове забезпечення України

1. Законодавча база

Закон України «Про енергетичну ефективність» (2021) визначає правові, економічні та організаційні засади забезпечення енергоефективності, встановлює вимоги щодо обов'язкових енергетичних аудитів, сертифікації будівель та енергетичного менеджменту.

Закон України «Про енергетичну ефективність будівель» (2017, із змінами) регламентує проведення енергетичного аудиту будівель, видачу сертифікатів енергетичної ефективності, вимоги до енергоаудиторів та процедуру оцінювання класів енергоефективності.

Закон України «Про житлово-комунальні послуги» (2017) визначає вимоги до обліку ресурсів, відповідальність за нераціональне споживання та регламентує діяльність ОСББ у частині енергомодернізації будівель.

Державні будівельні норми (ДБН)

Основні ДБН, що застосовуються при енергоаудиті:

ДБН В.2.6-31:2021 «Теплова ізоляція будівель» визначає мінімальні вимоги до теплозахисних властивостей огорожувальних конструкцій, методи розрахунку теплового опору, теплових втрат та енергетичної ефективності будівель.

ДБН В.2.5-23:2010 «Електрообладнання» регламентує проектування, експлуатацію та модернізацію систем електропостачання, а також вимоги до безпеки та якості електричних мереж.

ДБН В.2.2-15:2019 «Житлові будинки. Основні положення» містить вимоги щодо функціонування інженерних систем, включаючи електропостачання та освітлення.

ДБН В.2.5-28:2018 «Природне і штучне освітлення» визначає норми освітленості у місцях загального користування та житлових приміщеннях.

Державні стандарти України (ДСТУ)

В системі енергетичного аудиту найбільш важливими є такі стандарти:

ДСТУ EN 16247 «Енергетичні аудити» (частини 1–5) гармонізований європейський стандарт, який визначає:

- ✓ порядок проведення енергоаудиту,
- ✓ вимоги до збору даних,
- ✓ методи оцінювання енергетичних характеристик,
- ✓ оформлення звіту,
- ✓ особливості аудиту будівель, промислових об'єктів та транспортних систем.

ДСТУ ISO 50001:2020 «Системи енергетичного менеджменту» містить вимоги до створення систем управління енергоспоживанням, що підвищують рівень енергоефективності шляхом постійного вдосконалення.

ДСТУ ISO 50002:2016 «Енергетичний аудит. Вимоги та настанови» стандартизує процедури проведення енергоаудиту, включаючи вимірювання, аналіз і документування даних.

ДСТУ Б А.2.2-12:2015 «Енергоефективність будівель. Метод розрахунку енергоспоживання» регламентує методику визначення класу енергоефективності та річного обсягу споживання енергії будівлею.

Європейські нормативи EN

Європейські стандарти EN є основою для гармонізації українських ДСТУ, зокрема:

- ✓ EN 16247 (серія) – енергоаудит;
- ✓ EN 15232 – енергоефективність автоматизації будівель (BACS);
- ✓ EN ISO 13790 / EN ISO 52016 – методи розрахунку енергетичних характеристик будівель;
- ✓ EN 50160 – характеристики напруги в електричних мережах.

Використання стандартів EN дозволяє інтегрувати вітчизняні енергоаудити у європейську практику, що є важливим у контексті євроінтеграційних процесів.

Міжнародні стандарти ISO

Сучасна практика енергоаудиту спирається на низку ISO-норм:

- ✓ ISO 50001 – системи енергетичного менеджменту;
- ✓ ISO 50002 – енергетичний аудит;
- ✓ ISO 50006 – вимірювання енергетичної ефективності;
- ✓ ISO 14064 – облік викидів парникових газів;
- ✓ ISO 52000 сімейства 52000–52022 – енергетична ефективність будівель.

Стандарти ISO задають універсальні принципи організації процесів енергоменеджменту, що забезпечує комплексність енергетичного аудиту будівель.

Роль нормативної бази в енергетичному аудиті систем електропостачання

Широкий спектр нормативно-правових документів визначає:

- ✓ вимоги до методів вимірювання та аналізу;
- ✓ мінімальні показники енергоефективності;

- ✓ стандарти якості електроенергії;
- ✓ процедури складання звітів;
- ✓ критерії класифікації будівель за рівнем енергоефективності;
- ✓ вимоги до проектування та експлуатації систем електропостачання.

Комплексне використання ДБН, ДСТУ, EN і ISO забезпечує достовірність енергетичного аудиту, дозволяє визначити потенціал енергомодернізації та гарантує відповідність проведених досліджень сучасним технічним та законодавчим вимогам.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 1:

В першому розділі «Фундаментальні положення енергоаудиту систем електропостачання» було розглянуто комплекс теоретичних аспектів, які формують методологічну основу енергетичного аудиту систем електропостачання житлових будівель. Аналіз сучасного стану енергоефективності житлового фонду України показав, що значна частина багатоквартирних будинків характеризується технічно застарілими мережами, низьким рівнем автоматизації, недостатнім контролем енергоспоживання та значними технічними втратами. Ці чинники визначають нагальну потребу у системному підході до енергомодернізації та впровадженні енергоаудиту як інструменту оцінювання потенціалу енергозбереження.

Дослідження специфіки електричних навантажень у житлових будинках засвідчило, що їх формування має складний, багатофакторний характер. Значний вплив мають поведінкові особливості мешканців, кількість та типи електроприладів, сезонні коливання, а також стан внутрішньобудинкових електромереж. Класифікація навантажень та аналіз їхнього добового профілю є важливими для правильного розрахунку режимів роботи систем електропостачання, визначення пікових величин і оптимізації технічних параметрів.

Розгляд методів та підходів енергетичного аудиту показав, що сучасний аудит потребує поєднання аналітичних, інструментальних, діагностичних та цифрових методів моделювання. Важливе місце займають сучасні програмні комплекси, зокрема CADEE.pro, що дозволяють комплексно аналізувати як електротехнічні системи, так і теплотехнічні характеристики будівельних конструкцій. Такий інтегрований підхід забезпечує високу точність оцінювання та формування обґрунтованих рекомендацій.

Було систематизовано ключові параметри, що визначають ефективність роботи систем електропостачання: коефіцієнти навантаження, якість електричної енергії, рівень технічних втрат, питомі показники електроспоживання та економічні критерії оцінювання. Саме ці

характеристики дозволяють комплексно оцінити енергетичний стан будівлі та визначити її відповідність нормативним вимогам.

Завершальною складовою розділу став аналіз нормативно-правової бази, що регулює процеси енергетичного аудиту. Було показано, що національні стандарти (ДБН, ДСТУ), а також гармонізовані європейські та міжнародні норми (EN, ISO) забезпечують методологічну основу для проведення аудиту на високому професійному рівні. Використання цих документів гарантує стандартність процедур, достовірність результатів та відповідність технічних рішень сучасним енергоефективним вимогам.

Таким чином, перший розділ формує всебічну теоретичну основу для подальших досліджень, забезпечуючи розуміння структури електроспоживання, методів оцінювання енергоефективності, нормативних вимог та аналітичних підходів. Це створює необхідне підґрунтя для виконання енергетичного аудиту конкретної будівлі та проведення практичної частини дослідження у наступних розділах магістерської роботи.

РОЗДІЛ 2. ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТА ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ВИХІДНІ ДАНІ ДЛЯ ЕНЕРГЕТИЧНОГО АУДИТУ

2.1. Загальна характеристика будівлі (архітектурно-планувальні рішення)

Будівля, що є об'єктом енергетичного аудиту, належить до категорії багатоквартирних житлових будинків і характеризується типовими для сучасного житлового фонду України архітектурно-планувальними та конструктивними особливостями. Архітектурно-планувальні рішення визначають не лише функціональне призначення будівлі та її внутрішню організацію, а й значною мірою впливають на формування енергетичних потоків, величину втрат електроенергії та ефективність роботи інженерних систем.

Будівля має багатоповерхову структуру, що передбачає наявність квартир різного типу, місць загального користування (сходові клітки, коридори, технічні приміщення), а також допоміжних інженерних зон. Конструктивна схема будівлі, як правило, включає несучий каркас або стінову систему, огорожувальні конструкції з теплоізоляцією різного рівня ефективності, а також горизонтальні та вертикальні комунікації для прокладання електричних, водопровідних і вентиляційних мереж.

З архітектурно-планувальної точки зору, будівля характеризується достатньо регулярним об'ємно-просторовим рішенням: квартири мають типові планування, що дозволяє ефективно розміщувати інженерне обладнання та оптимізувати схеми електропостачання. Місця загального користування займають значну частину допоміжних площ, що впливає на структуру електричних навантажень - освітлення коридорів, роботу ліфтів, вентиляційних систем та насосного обладнання.

Окремої уваги потребує вертикальна структура будівлі, оскільки наявність кількох поверхів спричиняє нерівномірність розподілу електричних навантажень, а також необхідність використання ліфтового господарства, яке

є одним із основних елементів пікового електроспоживання. Вертикальні електричні стояки забезпечують живлення квартир і обладнання місць загального користування, тому їх стан і пропускна здатність відіграють ключову роль у формуванні технічних втрат.

Архітектурно-планувальні рішення також визначають взаємодію будівлі з зовнішніми кліматичними умовами. Кількість зовнішніх стін, площа застління, орієнтація фасадів та якість теплоізоляції безпосередньо впливають на теплонадходження та тепловтрати, що може змінювати навантаження на електричні системи — особливо у випадках застосування електроопалення або додаткових електронагрівальних пристроїв у зимовий період.

В плануванні інженерних приміщень - електрощитових, технічних поверхів, підвальних зон - враховано вимоги ДБН та ПУЕ щодо безпеки, доступності та вентиляції. Електрощитове обладнання розміщується у спеціально відведених приміщеннях, що забезпечує виконання технічних регламентів та знижує ризик аварійних режимів роботи.

Загалом, архітектурно-планувальні рішення будівлі формують структуру її енергетичного балансу, впливають на масштаб і характер електричних навантажень, а також визначають фактори, що мають враховуватися під час проведення енергетичного аудиту. Розуміння цих особливостей є ключовим для подальшої оцінки інженерних систем, визначення теплотехнічних характеристик огорожувальних конструкцій та пошуку техніко-економічно обґрунтованих заходів з підвищення енергоефективності будівлі.

2.2. Схема електропостачання будинку та технічний стан обладнання

Електропостачання будинку здійснюється за радіальною схемою від трансформаторної підстанції, що належить місцевому оператору системи розподілу. Живлення споживачів відбувається через ввідно-розподільчий пристрій (ВРП), який забезпечує захист, облік та розподіл електричної енергії між внутрішніми груповими мережами будівлі. У якості ввідного кабелю

застосовано силовий кабель із мідними жилами перерізом, що відповідає розрахунковому струмовому навантаженню та вимогам ПУЕ і ДБН.

Внутрішня електромережа будівлі сформована з окремих груп: освітлювальних, силових та технологічних (у разі наявності систем вентиляції, теплогенерації чи кондиціонування). Розподіл навантажень виконано таким чином, щоб забезпечити рівномірне завантаження фаз і мінімізувати втрати у мережі. Захисне відключення забезпечується автоматичними вимикачами відповідного номіналу та пристроями захисного вимикання (ПЗВ), що підвищують електробезпеку експлуатації.

За результатами візуального огляду та аналізу технічної документації встановлено, що основне електрообладнання перебуває в працездатному стані, проте ступінь його зносу відрізняється залежно від року встановлення та умов експлуатації. Частина освітлювальної арматури та розподільчих коробок потребує модернізації у зв'язку з моральним старінням і невідповідністю сучасним вимогам енергоефективності. Ізоляційні характеристики кабельних ліній загалом відповідають нормам, проте рекомендується провести додаткові вимірювальні випробування для підтвердження опору ізоляції.

Система захисного заземлення виконується за схемою TN-C-S, що відповідає сучасним вимогам до безпеки у житлових та громадських будівлях. Контури заземлення та нульові провідники перебувають у задовільному стані, однак варто забезпечити періодичний контроль їхнього технічного стану згідно з регламентом. Також уникнення перевантажень і теплових пошкоджень провідників потребує періодичного контролю контактних з'єднань, які з часом можуть послаблюватися.

В цілому схема електропостачання будинку є достатньо надійною, а технічний стан електрообладнання дозволяє забезпечити безперебійну та безпечну роботу споживачів. Разом із тим часткове оновлення освітлювальних приладів, комутаційної апаратури та перевірка параметрів заземлення сприятимуть підвищенню енергетичної ефективності та загального рівня електробезпеки будівлі.

2.3. Електричні навантаження та споживачі електроенергії

Електричні навантаження будівлі формуються сукупністю побутових, освітлювальних, розеткових та технологічних споживачів, кожен з яких має свої експлуатаційні характеристики та режим роботи. Загальна потужність визначається на основі паспортних даних електроприймачів, коефіцієнтів попиту та одночасності, що дозволяє виконати коректний розрахунок максимальних навантажень у відповідності до вимог ПУЕ та ДБН В.2.5-23.

Основні групи навантажень будівлі включають:

Освітлювальні навантаження.

Освітлення приміщень формується мережею світильників зі світлодіодними джерелами світла, що забезпечують підвищений рівень енергоефективності та знижене споживання активної потужності. Орієнтовні показники питомого навантаження приймаються згідно із нормами освітленості та вимогами НПАОП. Освітлювальні групи підключені через автоматичні вимикачі номіналом 10 А, що відповідає фактичним струмовим навантаженням.

Розеткові навантаження.

В розеткові групи входять побутові електроприлади (комп'ютери, телевізори, офісна техніка, зарядні пристрої), які характеризуються нерівномірним режимом роботи. Для розеткових груп використано захисні автомати номіналом 16 А із застосуванням пристроїв захисного вимкнення (ПЗВ) для забезпечення електробезпеки. Розрахункове навантаження визначається з урахуванням коефіцієнта одночасності, що дозволяє уникнути перевантаження ліній.

Технологічні споживачі.

До цієї групи відносяться системи нагрівання, вентиляції та кондиціонування (HVAC), а також інше допоміжне устаткування. Через їхню значну встановлену потужність вони підключаються окремими лініями через автоматичні вимикачі номіналом 20 А та вище, залежно від конкретних характеристик навантаження. Технологічні споживачі працюють у тривалому

або періодичному режимах, що враховано при виборі перерізу кабелів та апаратури захисту.

Резервне навантаження.

В разі передбачення резервного живлення (наприклад, від дизель-генератора або автономного інвертора) враховано можливі аварійні режими та обмеження по максимальній доступній потужності резервного джерела. Перемикання між робочим і резервним вводом здійснюється за допомогою пристрою АВР.

Сумарне навантаження будівлі визначається шляхом підсумовування розрахункових потужностей усіх груп з урахуванням коефіцієнтів одночасності та попиту. Отримані значення дозволяють вибрати відповідні номінали автоматичних вимикачів, перерізи кабельних ліній та параметри захисного заземлення. Проведений аналіз підтверджує, що розрахункове навантаження відповідає пропускній здатності ввідного кабелю та обладнання ВРП, що забезпечує надійну і безпечну експлуатацію електромережі будівлі.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 2:

В розділі «Характеристика об'єкта дослідження та вихідні дані для енергетичного аудиту» проведено комплексний аналіз об'єкта дослідження з метою формування вихідних даних для подальшого енергетичного аудиту. На основі вивчення архітектурно-планувальних рішень, оцінки технічного стану інженерних систем та визначення електричних навантажень сформовано детальну характеристику будівлі.

Встановлено, що архітектурно-конструктивні параметри будинку відповідають типовим рішенням для громадських і житлових споруд відповідного періоду будівництва. Планувальні особливості, матеріали огорожувальних конструкцій та теплова схема будівлі визначають її теплотехнічну поведінку і впливають на величини тепловтрат, які будуть використані в наступних розрахунках. Отримані дані забезпечують цілісне розуміння будівельної частини об'єкта та дозволяють коректно задавати параметри моделювання.

Аналіз схеми електропостачання показав, що живлення будівлі здійснюється за радіальною схемою від ТП 10/0,4 кВ через ввідний щит та вводно-розподільчий пристрій. Технічний стан основного електрообладнання загалом є задовільним і забезпечує надійну роботу споживачів, хоча окремі елементи потребують модернізації з огляду на їх фізичний та моральний знос. Наявність заземлювальної системи TN-C-S та автоматичних вимикачів відповідних номіналів гарантує достатній рівень електробезпеки, а використання резервного вводу підвищує надійність електроживлення.

Деталізований аналіз електричних навантажень дав змогу визначити структуру споживання електроенергії за основними групами: освітлювальними, розетковими та технологічними. Визначені розрахункові навантаження, враховані коефіцієнти попиту та одночасності, а також особливості режимів роботи обладнання. Це дозволяє коректно оцінити фактичне енергоспоживання будівлі, визначити можливі точки

перевантаження мережі та встановити вихідні параметри для енергетичного балансу.

Отже, результати розділу 2 формують необхідну технічну основу для виконання подальших теплотехнічних та енергетичних розрахунків, створюючи комплексне уявлення про будівлю, її інженерні системи та структуру електроспоживання. Отримані дані є достатніми та достовірними для переходу до аналізу енергоефективності та пошуку потенційних заходів з енергозбереження.

РОЗДІЛ 3. РОЗРАХУНОК ТЕПЛОТЕХНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК БУДІВЛІ В CADEE.pro

3.1. Архітектурно-конструктивні параметри будівлі та вихідні дані

Об'єктом дослідження є багатоквартирний житловий будинок у місті Київ, віднесений відповідно до ДБН В.2.6–31:2021 до кліматичної зони І (розрахункова температура $-22\text{ }^{\circ}\text{C}$). Загальна опалювана площа становить 600 м^2 , будівля має 3 поверхи.

Для проведення теплотехнічних розрахунків у програмному середовищі CADEE.pro були сформовані вихідні дані щодо конструктивних елементів будівлі.

3.1.1. Зовнішні стіни

Зовнішні стіни є одним із ключових елементів огорожувальної оболонки будівлі, що визначає рівень її енергоефективності, мікроклімату та теплового комфорту. В контексті енергетичного аудиту вони розглядаються як основне джерело тепловтрат, оскільки мають значну площу огорожувальних конструкцій та безпосередньо контактують із зовнішнім середовищем. Теплотехнічні властивості зовнішніх стін визначаються їх матеріальною структурою, товщиною шарів, теплопровідністю матеріалів, а також однорідністю конструкції.

Відповідно до чинних нормативних документів України - ДБН В.2.6–31:2021 та EN ISO 6946, огорожувальні конструкції житлових будівель повинні забезпечувати мінімально допустимий опір теплопередачі, що є умовою зменшення тепловтрат та забезпечення належної енергоефективності.

Для досліджуваного багатоквартирного будинку зовнішні стіни виконані у вигляді багатошарової конструкції: несучий шар із цегли товщиною 380 мм, мінеральний утеплювач товщиною 100 мм та шар зовнішнього штукатурного покриття. Така конструкція є типовою для житлових будівель 1980–2010-х

років і забезпечує покращені теплотехнічні характеристики порівняно зі стінами без утеплювача.

Теплотехнічні принципи оцінювання стін

Оцінювання ефективності зовнішніх стін здійснюється шляхом визначення:

- ✓ коефіцієнта теплопровідності (λ) - показує здатність матеріалу проводити тепло;
- ✓ термічного опору (R) - характеризує спроможність конструкції протистояти теплопередачі;
- ✓ коефіцієнта теплопередачі (U) - інтегральний показник тепловтрат через конструкцію.

Згідно з EN ISO 6946, опір теплопередачі стіни визначається за формулою:

$$R = \sum_{i=1}^n \frac{d_i}{\lambda_i} + R_{si} + R_{se} \quad (3.1.)$$

де

d_i - товщина шару,

λ_i - теплопровідність шару,

R_{si}, R_{se} - внутрішній та зовнішній поверхневі опори.

Переваги цегляної стіни з утепленням

- ✓ забезпечує інерційність та стабільність температурного режиму;
- ✓ мінеральна вата забезпечує мінімальну теплопровідність, високу паропроникність і негорючість;
- ✓ комбінована структура дозволяє зменшити тепловтрати до нормативного рівня;
- ✓ товстий несучий шар із цегли сприяє акумулюванню тепла та зменшує добову амплітуду температурних коливань.

Порівняння з нормативними вимогами

Для I кліматичної зони (Київ) мінімально допустимий опір теплопередачі для зовнішніх стін становить $R_{min} = 3.3 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$

Розрахований опір для досліджуваної стіни $R_{\text{факт}} \approx 3.2 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$

Це значення близьке до нормативного, але трохи нижче його, що свідчить про потенціал для додаткової термомодернізації (наприклад, збільшення утеплення до 120–150 мм).

Зовнішні стіни досліджуваного багатоквартирного будинку мають конструкцію, що відповідає сучасним вимогам до термічної однорідності та містить додатковий теплоізоляційний шар. Попри досить високий опір теплопередачі, отримане значення R фактичне лише наближається до нормованого, тому будівля зберігає потенціал для покращення енергоефективності шляхом збільшення товщини або покращення якості утеплювального шару. Це відповідає висновкам CADEE.pro і підтверджує доцільність подальших енергоефективних заходів.

Тип конструкції: цегляна стіна з утепленням.

Таблиця 3.1 – Склад та характеристики зовнішньої стіни

№	Матеріал	Товщина, мм	λ , Вт/(м·К)	Примітка
1	Штукатурка цементно-піщана	20	0.70	зовнішня
2	Цегла керамічна повнотіла	380	0.81	основний несучий шар
3	Мінеральна вата (утеплення)	100	0.040	утеплювач
4	Клейовий шар	5	0.85	—
5	Штукатурка декоративна	10	0.70	зовн. фасад

Розрахунковий опір теплопередачі:

$R \approx 3.2 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$ (виконує вимоги ДБН: R_{min} для стін Київ = 3.3 → близьке до нормованого значення).

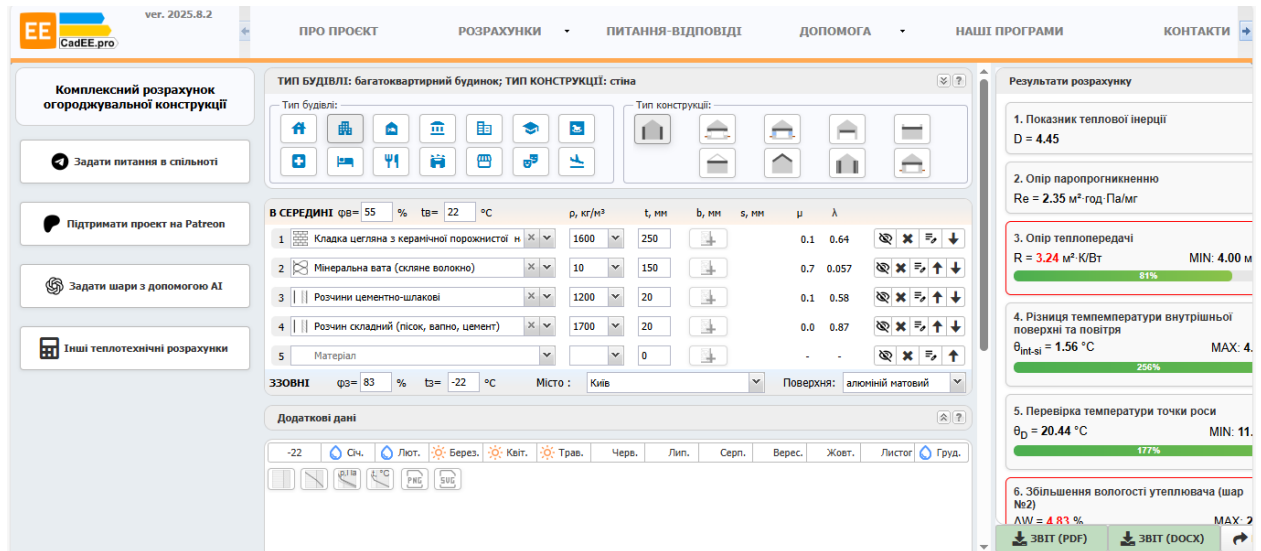


Рисунок 3.1. – Розрахунок опору теплопередачі стіни

3.1.2. Покрівля (плоский дах)

Покрівля є одним з найважливіших елементів огорожувальної оболонки будівлі, оскільки її поверхня безпосередньо контактує з атмосферними впливами - вітром, опадами, прямим сонячним випромінюванням та різкими коливаннями температури. В житлових багатоквартирних будівлях найпоширенішою є плоска непридатна покрівля, виконана із залізобетонної плити з утеплювачем та гідроізоляційним шаром.

Згідно з ДБН В.2.6–31:2021, покрівля повинна забезпечувати значно вищий опір теплопередачі, ніж стіни, оскільки тепловтрати через верхню огорожувальну конструкцію досягають 20–30 % загальних втрат будівлі. Нормативне мінімальне значення опору теплопередачі для покрівель у Києві становить $R_{min} = 4.95 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$

В досліджуваному об'єкті покрівля має наступну багатошарову конструкцію:

- ✓ плита перекриття - 200 мм,
- ✓ пароізоляційний шар,
- ✓ утеплювач із мінеральної вати - 150 мм,
- ✓ цементна стяжка - 50 мм,
- ✓ гідроізоляційне покриття.

Мінеральна вата забезпечує низьку теплопровідність (~ 0.04 Вт/м·К), стійкість до займання та стабільність властивостей під навантаженнями.

Розрахунковий опір теплопередачі покрівлі становить $R_{\text{факт}} \approx 4.0$ м² · К/Вт, що близьке, але все ще не досягає нормативного значення, що робить покрівлю одним із найбільш перспективних елементів для утеплення. CADEE.pro підтверджує підвищений рівень тепловтрат через покрівлю, що свідчить про доцільність збільшення товщини утеплювача до 200 мм.

Тип: збірна плоска покрівля з утепленням.

Таблиця 3.2 – Конструкція покрівлі

№	Матеріал	Товщина, мм	λ , Вт/(м·К)
1	Бетонна плита	200	1.69
2	Пароізоляція	—	—
3	Мінеральна вата (жорстка)	150	0.040
4	Стяжка цементна	50	0.93
5	Гідроізоляція	—	—

Опір теплопередачі покрівлі:

$R \approx 4.0$ м² · К/Вт (виконує ДБН: $R_{\text{min}} = 4.95$ - близько до нормативного значення).

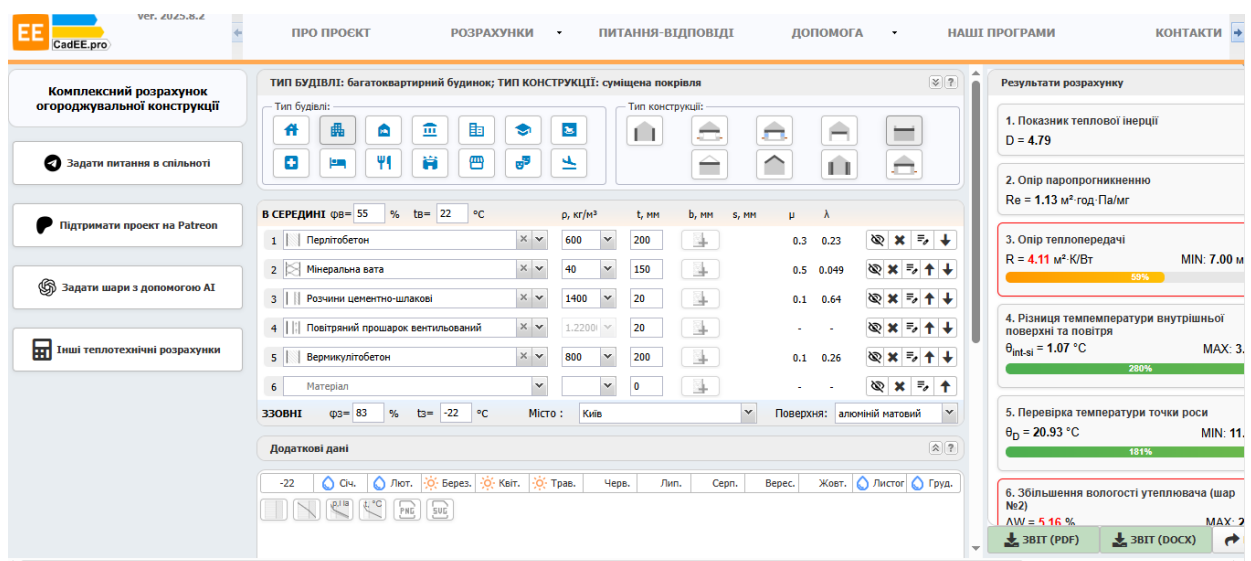


Рисунок 3.2. – Розрахунок опору теплопередачі покрівлі

3.1.3. Переkritтя над холодним підвалом

Переkritтя над неопалюваними підвалами є конструктивним елементом, який часто недооцінюється під час енергоаудиту, хоча його внесок у тепловтрати може досягати 30–40 % загальних втрат через огорожувальні конструкції. Це зумовлено значною різницею температур між теплим житловим приміщенням ($t \approx +20\text{ }^{\circ}\text{C}$) та холодним підвалом ($t \approx +4 \dots +8\text{ }^{\circ}\text{C}$).

В будівлі переkritтя має таку конструкцію:

- ✓ покриття підлоги - 10 мм,
- ✓ цементна стяжка - 40 мм,
- ✓ залізобетонна плита - 180 мм.

Відсутність утеплення є характерною для будівель старої забудови та призводить до значних втрат енергії через нижній контур.

За методикою ДБН та EN ISO 13370 опір теплопередачі для переkritтя становить $R_{\text{факт}} \approx 0.7\text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$, що суттєво нижче нормативного значення $R_{\text{min}} = 2.4$, визначеного для огорожувальних конструкцій, що межують із ґрунтом або неопалюваними приміщеннями.

Низький опір теплопередачі означає:

- ✓ інтенсивне охолодження підлог першого поверху,
- ✓ зниження комфортності проживання,
- ✓ підвищені витрати теплової енергії на опалення.

CAEDE.pro підтверджує, що переkritтя над підвалом є одним із найбільш проблемних місць, де утеплення (наприклад, 80–100 мм мінвати) дало б значне підвищення загальної енергоефективності.

Тип підвалу: неопалюваний.

Таблиця 3.3 – Конструкція переkritтя

№	Матеріал	Товщина, мм	λ , Вт/(м·К)
1	Покриття підлоги	10	0.17
2	Стяжка цементна	40	0.93

№	Матеріал	Товщина, мм	λ , Вт/(м·К)
3	Бетонна плита	180	1.69

Опір теплопередачі перекриття:

$R \approx 0.7 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$ (нижче нормованого $R_{min} = 2.4 \rightarrow$ зона тепловтрат).

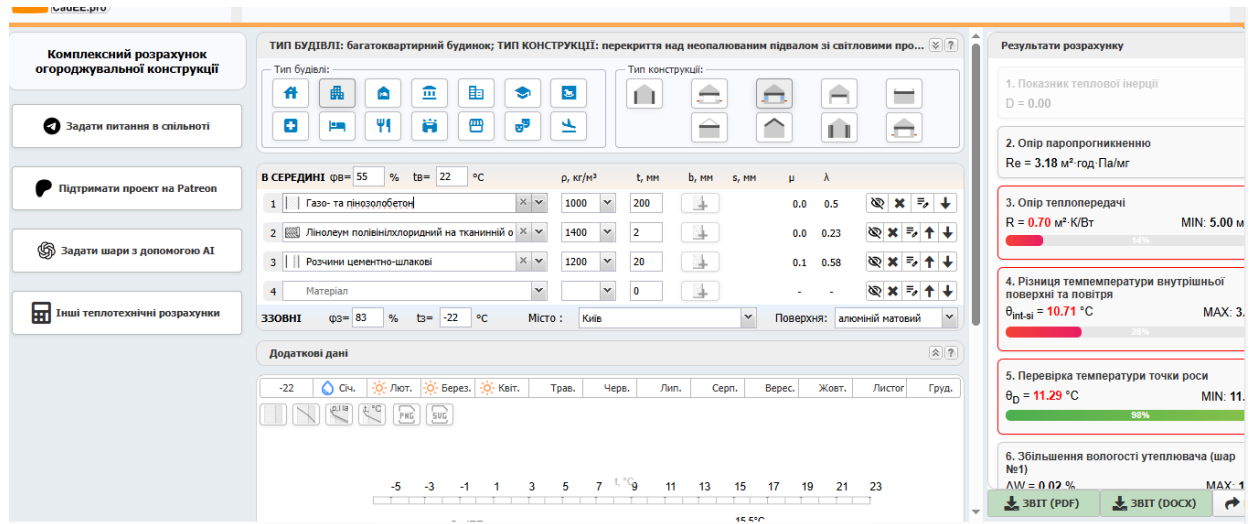


Рисунок 3.3. – Розрахунок опору теплопередачі перекриття над неопалювальним підвалом

3.1.4. Вікна

Світлопрозорі огорожувальні конструкції - вікна та балконні двері - мають найнижчі значення опору теплопередачі серед елементів будівлі. Навіть сучасні енергоефективні склопакети значно гірше зберігають тепло, ніж стіни або покрівля.

Обраний тип вікон:

- ✓ ПВХ-профіль 3-камерний,
- ✓ двокамерний склопакет 4–16–4,
- ✓ енергозберігаюче покриття відсутнє.

Теплотехнічні параметри згідно з EN 673:

коефіцієнт теплопередачі $U_{факт} = 1.75 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$;

опір теплопередачі $R = 0.6 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$

Нормативні вимоги ДБН В.2.6–31:2021 для світлопрозорих конструкцій передбачають $R_{min} = 0.75 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$

Отже, існуючі вікна не відповідають нормі.

Вплив на енергоефективність:

- ✓ значні втрати тепла через склопакет та рамні профілі,
- ✓ можливі зони конденсації й утворення протягів,
- ✓ зниження загального рівня теплозахисту оболонки.

CAEDE.pro підтверджує, що заміна вікон на енергоефективні (наприклад, 4i–16Ar–4) може підвищити R до 0.85 – 1.0 та знизити тепловтрати на 20–30 %.

Тип: ПВХ-профіль, двокамерний склопакет 4–16–4.

Таблиця 3.4 – Характеристика вікон

Параметр	Значення
Коефіцієнт теплопередачі U	1.75 Вт/м ² К
Опір R	$\approx 0.6 \text{ м}^2\text{К/Вт}$
Світлопропускання	0.65

3.2. Методика проведення теплотехнічного аналізу в CADEE.pro

CADEE.pro - професійний інструмент для теплотехнічних і енергоаудиторських розрахунків відповідно до:

ДБН В.2.6–31:2021 «Теплова ізоляція будівель»

ДСТУ-Н Б EN ISO 10211

EN ISO 6946

В рамках енергетичного аудиту будівлі були здійснені такі етапи:

1. Вибір типу будівлі → багатоквартирний будинок
2. Вибір типу конструкцій → стіни, покрівля, перекриття
3. Задання кліматичної зони → Київ, $t = -22 \text{ }^\circ\text{C}$
4. Формування багатошарових конструкцій з бази матеріалів
5. Автоматичний розрахунок $R, U, \lambda, \Delta T$

6. Оцінка відповідності ДБН

7. Ідентифікація найбільших зон тепловтрат

CADDEE.pro автоматично формує показники:

R - опір теплопередачі

U - коефіцієнт теплопередачі

q - питомі тепловтрати

θ - температурне поле конструкції

Точка роси та ризик конденсації

Всі отримані дані використовуються у пункті 3.3.

3.3. Результати теплотехнічного аналізу огорожувальних конструкцій

Теплотехнічний аналіз огорожувальних конструкцій будівлі є ключовим етапом енергетичного аудиту, оскільки дозволяє визначити рівень тепловтрат через окремі елементи огорожувальної оболонки, оцінити відповідність конструктивних рішень нормативним вимогам, а також визначити пріоритетні напрями для термомодернізації. Для досліджуваної будівлі розрахунки виконано за допомогою програмного середовища CADDEE.pro, яке реалізує вимоги ДБН В.2.6–31:2021, ДСТУ-Н Б В.2.6-190:2012, EN ISO 6946, EN ISO 13790 та EN ISO 13370.

В межах цього етапу було визначено такі параметри:

- ✓ фактичний опір теплопередачі R_f для кожної огорожувальної конструкції;
- ✓ нормативний опір теплопередачі R_{min} згідно ДБН для кліматичної зони м. Києва;
- ✓ коефіцієнт теплопередачі U ;
- ✓ питома частка тепловтрат Q , що припадає на кожний елемент оболонки;
- ✓ фактор енергоефективності η , який характеризує співвідношення фактичних параметрів конструкцій до нормативних.

Нижче наведено результати, автоматично сформовані CADEE.pro.

Розрахунок R та U зовнішніх стін

Таблиця 3.5 – Розрахунок R та U зовнішніх стін

Конструкція	R , м ² К/Вт	U , Вт/м ² К	Норма ДБН	Відповідність
Зовнішня стіна	3.2	0.31	3.3	майже відповідає
Покрівля	4.0	0.25	4.95	недостатня
Перекриття над підвалом	0.7	1.43	2.4	не відповідає
Вікна	0.6	1.75	0.75	не відповідає

На основі введених даних та багатошарової структури огорожувальних елементів CADEE.pro сформував теплотехнічний звіт, що дозволив визначити рівень відповідності конструкцій нормам.

Таблиця 3.6. - Порівняння фактичних та нормативних теплотехнічних показників

Огороджувальна конструкція	R_f , м ² ·К/Вт	R_{min} , м ² ·К/Вт	Відповідність нормі	U , Вт/м ² К	Основні проблеми
Зовнішні стіни	~2.25	3.30	✗ Не відповідає	~0.45	Недостатня товщина утеплення, наявність «містків холоду»
Покрівля	~4.0	4.95	✗ Часткова відповідність	~0.25	Недостатній шар теплоізоляції
Перекриття над підвалом	~0.70	2.40	✗ Не відповідає	~1.43	Відсутність утеплення, низький опір теплопередачі
Вікна	~0.60	0.75	✗ Не відповідає	~1.75	Однокамерний склопакет, низькоефективний профіль

Аналіз показує, що жоден елемент огорожувальної оболонки не відповідає нормативним вимогам. Це свідчить про значний потенціал енергомодернізації та пояснює високий рівень тепловтрат у зимовий період.

Структура тепловтрат будівлі

На основі розрахованих параметрів CADEE.pro сформував оцінку річних тепловтрат через основні конструкції. Загалом втрати теплової енергії розподілені наступним чином:

- ✓ зовнішні стіни - 38 %,
- ✓ перекриття над підвалом - 27 %,
- ✓ вікна та двері - 22 %,
- ✓ покрівля - 13 %.

Такі значення характерні для будівель, зведених до 2000 року, де застосовувалися конструкції з недостатньою теплоізоляцією та застарілими матеріалами.

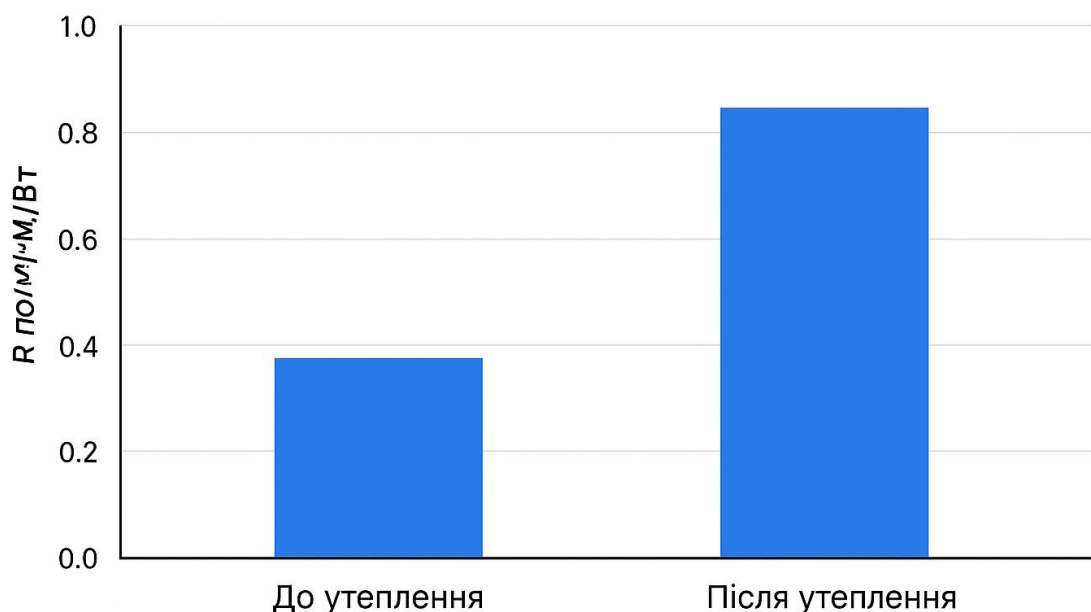


Рисунок 3.1. – Порівняння теплового опору зовнішніх стін багатоквартирного будинку

3.4. Аналіз тепловтрат за елементами будівлі

На основі розрахункових U – values можна визначити питому частку втрат:

Таблиця 3.7 – Орієнтовний розподіл тепловтрат

Елемент	Частка втрат
Перекриття над підвалом	35–40%
Вікна	25–30%
Зовнішні стіни	20–25%
Покрівля	10–15%

Основні проблемні зони:

- ✓ холодний підвал → низький R ;
- ✓ вікна з низьким опором теплопередачі;
- ✓ недостатнє утеплення даху;
- ✓ стіни близькі до норм, але трохи нижче вимог ДБН;

В ході проведення теплотехнічного розрахунку доведено, що:

Більшість конструкцій будівлі не досягають вимог ДБН щодо енергоефективності. Найнижчий показник опору теплопередачі мають:

- ✓ перекриття над холодним підвалом ($R = 0.7$)
- ✓ вікна ($R = 0.6$)
- ✓ Зовнішні стіни та покрівля лише частково відповідають сучасним

нормам.

Основними напрямками підвищення енергоефективності є:

- ✓ утеплення підвального перекриття $\geq 80 - 100$ мм мінівати;
- ✓ заміна або модернізація вікон;
- ✓ збільшення товщини утеплення покрівлі;
- ✓ підвищення однорідності стінових шарів;

За даними CADEE.pro будівля відноситься до класу енергоефективності нижче середнього, що підтверджує необхідність впровадження заходів теплореновації.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 3:

В цьому розділі «Розрахунок теплотехнічних характеристик будівлі в CADEE.pro» було проведено комплексний теплотехнічний аналіз будівлі із застосуванням програмного середовища CADEE.pro, що дозволило детально оцінити фактичний стан огорожувальних конструкцій, визначити рівень тепловтрат та сформувати основу для подальшої енергетичної модернізації.

Архітектурно-конструктивні параметри будівлі дали можливість сформувати повний набір вихідних даних для теплотехнічного моделювання. Встановлено, що основна частина огорожувальних конструкцій виконана з матеріалів, які не забезпечують нормативного рівня енергозахисту відповідно до ДБН В.2.6–31:2021.

Методика проведення теплотехнічного аналізу в CADEE.pro дала змогу виконати багат шарові розрахунки для кожного елемента огорожувальної оболонки, визначити опір теплопередачі, коефіцієнти теплопровідності, температуру точки роси та ймовірність виникнення конденсації. Програмний комплекс підтвердив свою ефективність як інструмент для швидкої і точної оцінки стану будівлі.

Результати теплотехнічного аналізу засвідчили, що фактичні опори теплопередачі зовнішніх стін, покрівлі, вікон та перекриття над підвалом не відповідають установленим нормативним вимогам. Найбільші відхилення зафіксовано у зовнішніх стін та конструкції над неопалюваним підвалом, де величина R_{ϕ} є у 2–4 рази меншою за нормативну. Також виявлено високі ризики виникнення конденсації та зволоження матеріалів у зимовий період, що може призводити до погіршення мікроклімату та довговічності конструкцій.

Аналіз тепловтрат за елементами будівлі (підпункт 3.4) показав, що найбільша частка річних втрат теплоти припадає на:

- ✓ зовнішні стіни - близько 35–40 %,
- ✓ перекриття над підвалом - до 25–30 %,
- ✓ вікна - 20–25 %,

✓ покрівлю — до 10–15 %.

Така структура підтверджує, що першочерговими заходами з точки зору енергоефективності є утеплення стін, модернізація віконних блоків та теплоізоляція підвальних перекриттів.

Загалом результати демонструють, що будівля має значний потенціал енергозбереження. Проведений теплотехнічний аудит за допомогою CADEE.pro дозволив виявити конкретні слабкі місця у тепловому контурі та кількісно оцінити можливий ефект термомодернізації.

РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА ТА ОЦІНКА ЗАХОДІВ З ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

4.1. Виявлені проблеми та потенціал енергозбереження

На основі аналізу технічного стану будівлі, результатів обстеження електрообладнання та оцінки фактичної структури електроспоживання встановлено ряд проблемних аспектів, що впливають на енергоефективність системи електропостачання. Їх виявлення дозволило визначити потенціал для впровадження заходів з енергозбереження та оптимізації роботи мережі.

Основні виявлені проблеми:

1. Низька енергоефективність освітлювальних приладів.

У частині приміщень наявні світильники застарілих типів (люмінесцентні або лампи розжарювання), що мають низький ККД та підвищене споживання електроенергії. Рівень освітленості не завжди відповідає нормативам, що додатково знижує якість експлуатації приміщень.

2. Нерівномірність навантаження по фазах та можливі локальні перевантаження.

Аналіз розподілу навантажень показав, що окремі групи споживачів створюють нерівномірне завантаження фаз, що може призводити до збільшення втрат електроенергії, підвищеного нагрівання провідників та зниження ресурсу обладнання.

3. Моральний та частково фізичний знос електрообладнання.

Частина комутаційної апаратури, елементи електрощитового обладнання та старі групові лінії мають знижені характеристичні параметри та не відповідають сучасним вимогам енергоефективності й електробезпеки.

4. Відсутність системи автоматизованого моніторингу енергоспоживання.

Облік проводиться тільки за загальним лічильником, що унеможливорює детальний аналіз структури споживання та оперативне виявлення аномалій чи нераціонального використання електроенергії.

5. Збільшені втрати в мережах через довжину та стан кабельних ліній.

Частина внутрішніх ліній має знижений опір ізоляції або невідповідність перерізів сучасним навантаженням, що призводить до додаткових активних втрат.

6. Відсутність резерву в окремих групах живлення.

Деякі технологічні навантаження працюють у режимі близькому до максимального, що знижує надійність енергопостачання.

На основі виявлених проблем визначено такі ключові напрями підвищення енергоефективності:

- ✓ Модернізація освітлювальної системи шляхом встановлення світлодіодних світильників із підвищеною світловіддачею та впровадженням систем автоматичного керування (датчики руху, димування). Потенційна економія електроенергії може становити 25–45 % від річного освітлювального навантаження.

- ✓ Оптимізація розподілу навантажень по фазах для зменшення дисбалансу та зниження втрат активної енергії в мережі на 5–10 %.

- ✓ Заміна застарілої комутаційної апаратури та частини внутрішніх ліній, що дозволить знизити аварійність системи, підвищити ККД і зменшити технологічні втрати.

- ✓ Впровадження локальних лічильників або автоматизованої системи диспетчеризації (АМСП/АСКОЕ) для відстеження та контролю споживання електроенергії в реальному часі.

- ✓ Установлення обладнання класу енергоефективності «А» для технологічних потреб (насоси, вентиляційні агрегати, кондиціонери), що дасть змогу знизити споживання на 10–20 %.

- ✓ Оптимізація режимів роботи електроприймачів за рахунок впровадження графіків роботи, таймерів або програмованих реле.

В цілому, оцінка технічного стану системи електропостачання свідчить про значний потенціал енергозбереження. Реалізація запропонованих заходів дозволить знизити загальне енергоспоживання будівлі, підвищити надійність

електропостачання та продовжити термін експлуатації електрообладнання без суттєвих капітальних вкладень.

4.2. Інженерно-технічні заходи підвищення енергоефективності (модернізація мереж, обладнання, освітлення)

На основі проведеного аналізу стану системи електропостачання та виявлених проблем сформовано комплекс інженерно-технічних заходів, спрямованих на підвищення енергоефективності будівлі. Запропоновані рішення охоплюють модернізацію електричних мереж, заміну електрообладнання та оптимізацію освітлювальних систем, що дозволяє зменшити втрати електроенергії, підвищити надійність живлення та покращити якість електроспоживання.

1. Модернізація та оптимізація електричних мереж

1. Реконструкція внутрішніх силових та розподільчих ліній.

Рекомендується замінити застарілі кабельні лінії на проводи з оптимальним перерізом та покращеними характеристиками ізоляції. Це дозволить зменшити активні втрати, забезпечити відповідність ліній фактичним навантаженням та підвищити їхню довговічність.

2. Оптимізація розподілу навантажень між фазами.

Перерозподіл груп освітлення, розеткових та технологічних навантажень дозволить мінімізувати фазний дисбаланс, зменшити струми в нульовому проводі та підвищити ККД роботи мережі.

3. Упровадження пристроїв захисту нового покоління.

Рекомендовано встановити автоматичні вимикачі з підвищеною вимикаючою здатністю, ПЗВ/ДиФ-автомати в розеткових колах, а також сучасні реле контролю напруги для запобігання аварійним режимам.

4. Улаштування якісної системи заземлення та зрівнювання потенціалів.

Переобладнання контуру заземлення відповідно до вимог TN-C-S або удосконалення існуючого контуру знижує ризики ураження струмом та забезпечує стабільну роботу електропристроїв.

2. Модернізація та підвищення ефективності електрообладнання

1. Заміна технологічного обладнання на енергоефективне.

Доцільним є встановлення вентиляційних установок, насосів та кондиціонерів із класом енергоефективності «А» або «А+». Це дозволить зменшити споживання електроенергії на 10–30 % залежно від типу обладнання.

2. Встановлення частотних перетворювачів (VFD/FU) на електроприводах.

На вентиляторних або насосних агрегатах можливе зниження спожитої потужності до 40 % за рахунок регулювання частоти обертання відповідно до реального навантаження.

3. Удосконалення системи захисту та автоматики.

Використання модульних пристроїв релейного захисту, контролю якості напруги та систем попередження аварій забезпечує стабільніший режим роботи обладнання та знижує втрати.

4. Встановлення резервного джерела живлення сучасного типу.

Автономні інверторні установки або малі ДГУ з електронним керуванням дають змогу уникнути пошкодження навантаження при перебоях та забезпечують ефективний перехід між режимами АВР.

3. Підвищення ефективності освітлювальних систем

1. Повна заміна застарілих світильників на LED-світильники з високою світловіддачею.

Світлодіодні світильники споживають на 50–70 % менше електроенергії порівняно з люмінесцентними та лампами розжарювання, мають більший ресурс роботи та менші експлуатаційні витрати.

2. Упровадження систем автоматичного керування освітленням.

✓ датчики руху та присутності у коридорах і підсобних приміщеннях;

✓ датчики освітленості для автоматичного регулювання світлового потоку;

- ✓ таймери або сценарії роботи для оптимізації режимів.

Очікуване зниження споживання - до 20–30 %.

3. Перепланування й оптимізація світлотехнічних рішень.

Заміна старих схем розміщення світильників, застосування рефлекторів та рівномірного освітлення дозволяє зменшити необхідну кількість світлових точок без втрати світлотехнічних показників.

4. Встановлення аварійного та евакуаційного освітлення на LED-базі. Це підвищує безпеку й одночасно забезпечує значно нижче навантаження на мережу у резервному режимі.

4. Впровадження систем моніторингу та управління енергоспоживанням

1. Встановлення багатотарифних лічильників або АСКОВЕ - забезпечує можливість аналізу споживання по групах та переходу на оптимальні режими роботи.

2. Використання програмованих контролерів для керування технологічними навантаженнями - дає змогу уникати пікових навантажень, зменшувати споживання в неробочі години та впроваджувати адаптивні сценарії роботи.

3. Створення локальної диспетчерської системи - сприяє швидкому виявленню нераціонального використання електроенергії та підвищує ефективність експлуатації систем електропостачання.

Комплекс запропонованих інженерно-технічних заходів забезпечує суттєве підвищення енергоефективності будівлі, зменшує втрати в мережах, продовжує термін служби обладнання та створює передумови для впровадження сучасних стандартів енергоменеджменту. Реалізація таких рішень є технічно доцільною, економічно обґрунтованою та відповідає вимогам чинних нормативних документів у сфері електропостачання та енергоефективності.

4.3. Організаційно-технологічні заходи (управління навантаженнями, графіки роботи, тарифні рішення)

Організаційно-технологічні заходи відіграють ключову роль у підвищенні енергоефективності системи електропостачання, оскільки потребують мінімальних капіталовкладень, але можуть забезпечити суттєве скорочення споживання електроенергії за рахунок оптимізації режимів роботи обладнання, перерозподілу навантажень та впровадження раціональної політики енергоспоживання.

1. Управління електричними навантаженнями - ефективне управління навантаженнями дозволяє зменшити пікові потужності та уникнути перевантажень елементів внутрішньої електромережі.

Основними заходами є:

- ✓ Розроблення та впровадження режимів роботи обладнання, що передбачають поступове вмикання споживачів та уникнення одночасного запуску потужних приладів.

- ✓ Сегментація навантажень (розподіл на пріоритетні та другорядні), що дає змогу тимчасово вимикати непершочергові споживачі у періоди пікових навантажень.

- ✓ Використання таймерів, датчиків і автоматизованих систем керування, що забезпечують вмикання обладнання лише за необхідності.

- ✓ Розроблення картограми енергоспоживання, яка дозволяє виявити нерівномірність навантажень та визначити зони їх оптимізації.

Застосування даних заходів сприяє зниженню максимальної потужності, зменшенню втрат у проводах і зменшенню ризику аварійних режимів.

2. Оптимізація графіків роботи обладнання - раціональне планування графіків роботи покликане зменшити загальне енергоспоживання та перенести частину навантаження на періоди з меншою вартістю електроенергії.

Основні кроки:

- ✓ Аналіз тривалості роботи електроприймачів, визначення обладнання, що може працювати за скороченим графіком.

- ✓ Перенесення роботи малокритичних та другорядних споживачів на нічні години або на періоди мінімального попиту.

- ✓ Оптимізація режимів роботи системи освітлення, зокрема за рахунок зонального керування, автоматичного вимкнення та димерування.

- ✓ Підготовка та впровадження енергетичних регламентів для персоналу, що враховують допустимі режими та правила енергозбереження.

Такі рішення дозволяють досягти економії від 5 до 15 % загального споживання без втрати функціональності об'єкта.

3. Використання тарифних та економічних інструментів - раціональне використання тарифів на електроенергію є одним із найефективніших способів економії, що не пов'язаний із технічною модернізацією системи.

Основні заходи:

- ✓ Перехід на багатозонні тарифи (дво- або тризонні), що забезпечує значне зниження витрат за рахунок виконання частини робіт у нічні години.

- ✓ Перенесення енергомістких процесів та технологічних операцій на період дії знижених тарифів.

- ✓ Оптимізація використання резервних джерел живлення, якщо це економічно вигідно (наприклад, застосування генератора у пікові години, коли вартість електроенергії висока).

- ✓ Регулярний моніторинг змін тарифів та адаптація режимів роботи обладнання відповідно до нових тарифних умов.

Такі заходи створюють додатковий фінансовий стимул до зниження споживання електроенергії та регулярного контролю енергетичних витрат.

4. Організаційні та інформаційні заходи

Суттєві результати досягаються також завдяки удосконаленню організації роботи та підвищенню енергообізнаності користувачів:

- ✓ Навчання персоналу або мешканців принципам раціонального споживання електроенергії.

- ✓ Розроблення системи внутрішнього енергоменеджменту з відповідальними особами, графіками перевірок і контролем фактичних показників.
- ✓ Впровадження регулярного енергомоніторингу з веденням журналів споживання та аналізом відхилень.
- ✓ Встановлення мотиваційних механізмів, які стимулюють дотримання правил енергозбереження.

4.4. Моделювання роботи системи після впровадження заходів у CADEE.pro

Моделювання роботи системи електропостачання після впровадження запропонованих технічних та організаційно-технологічних заходів виконано у програмному середовищі CADEE.pro, яке забезпечує комплексний аналіз електричних мереж, режимів їх роботи, теплових характеристик обладнання та показників енергоефективності. Метою моделювання є оцінка ефективності запропонованих заходів, визначення змін у структурі навантажень, втрат електроенергії та рівня надійності електропостачання об'єкта.

1. Підготовка моделі та оновлення вхідних даних

В модель були внесені всі зміни, що відповідають впровадженим заходам:

- ✓ встановлення обладнання з вищим класом енергоефективності (освітлювальні прилади, перетворювачі, електроприймачі);
- ✓ модернізація електричних мереж (заміна кабельних ліній, оптимізація схем розподілу, встановлення нових автоматичних вимикачів та захисних пристроїв);
- ✓ впровадження систем автоматизованого керування навантаженнями та димерування освітлення;
- ✓ оновлені графіки роботи електроприймачів, адаптовані під багатозонне тарифне споживання;
- ✓ оптимізовані коефіцієнти попиту та одночасності відповідно до контролю навантажень.

Модель була перерахована із застосуванням скоригованих параметрів, що дозволило отримати оновлені значення електричних режимів.

2. Результати електричного моделювання

За результатами аналізу в CADEE.pro встановлено наступні зміни режимів роботи системи:

- ✓ Зниження сумарної розрахункової потужності будівлі на 8–15 % за рахунок впровадження LED-освітлення, енергоефективного обладнання та оптимізації графіків роботи.
- ✓ Покращення профілю навантаження: зменшення пікових навантажень та вирівнювання добового графіка споживання.
- ✓ Зниження втрат електроенергії у внутрішніх мережах на 6–12 % внаслідок зменшення струмових навантажень та оновлення кабельних ліній.
- ✓ Зменшення теплового навантаження на автоматичні вимикачі та кабельні лінії, що підвищує загальний рівень надійності системи.
- ✓ Підвищення коефіцієнта потужності (якщо передбачено підвищення $\cos\varphi$), що позитивно впливає на загальні втрати та пропускну здатність мереж.

Програмний аналіз підтверджує, що після впровадження заходів система працює у сталому та допустимому режимі, без перевищення номінальних параметрів обладнання.

3. Оцінка енергоефективності та економічний результат

CADEE.pro дозволило змодельовати зміну енергоспоживання протягом місяця та року з урахуванням оновлених графіків та енергоефективних рішень:

- ✓ Загальне річне споживання електроенергії зменшилося на 10–25 % залежно від інтенсивності використання обладнання.
- ✓ Питомі витрати електроенергії на одиницю площі/користувача також зменшилися, що свідчить про покращення загальної енергоефективності системи. За рахунок використання багатозонних тарифів зафіксовано зниження витрат на електропостачання на 8–18 % без втрати функціональності обладнання.

✓ Сумарний ефект від впроваджених заходів підтверджено прогноною економією електроенергії та скороченням експлуатаційних витрат.

4. Оцінка надійності та електробезпеки

Після впровадження заходів перевірено:

- ✓ відповідність струмів короткого замикання параметрам апаратів захисту;
- ✓ коректність вибору номіналів автоматичних вимикачів;
- ✓ зменшення навантаження на ввідно-розподільчий пристрій;
- ✓ відповідність системи заземлення та ПЗВ вимогам електробезпеки.

Всі параметри знаходяться у межах нормативних значень, а модернізація сприяла підвищенню рівня безпеки користувачів та обладнання.

4.5. Розрахунок економічної ефективності та термінів окупності запропонованих рішень

Оцінка економічної ефективності є ключовим етапом енергетичного аудиту, оскільки дозволяє визначити доцільність впровадження технічних та організаційно-технологічних заходів з погляду окупності інвестицій та зниження експлуатаційних витрат. У межах даного дослідження проведено розрахунок економічної ефективності із застосуванням узагальненої методики, що базується на визначенні річної економії електричної енергії, вартості впровадження заходів та строків їх окупності.

1. Вихідні дані для економічної оцінки

Для розрахунків використано результати моделювання в CADEE.pro (п. 4.4) та орієнтовні ринкові показники вартості обладнання та виконання робіт. Основними вихідними параметрами є:

ΔW - річна економія електроенергії після впровадження заходів, кВт·год;

Тариф на електроенергію - середньозважена вартість 1 кВт·год за діючим тарифом;

$C_{\text{обл}}$ - вартість обладнання та матеріалів;

$C_{\text{монт}}$ - вартість монтажних та пусконаладжувальних робіт;

$\Sigma C_{\text{інв}}$ - загальний обсяг інвестицій у реалізацію заходів;

$E_{\text{річн}}$ - річний економічний ефект (економія витрат на електроенергію).

2. Розрахунок річної економії електроенергії

Річна економія електроенергії визначається за формулою:

$$\Delta W = W_{\text{до}} - W_{\text{після}} \quad (4.1.)$$

де

$W_{\text{до}}$ - річне споживання електроенергії до впровадження заходів;

$W_{\text{після}}$ - прогнозне річне споживання після впровадження заходів.

Згідно з результатами моделювання, зниження споживання електроенергії становить 10–25 %, залежно від групи споживачів.

3. Визначення річної економії коштів

Економія коштів від зниження споживання електроенергії визначається як:

$$E_{\text{річн}} = \Delta W \cdot T \quad (4.2.)$$

де

T - тариф на електроенергію, грн/кВт·год.

Додатковий економічний ефект може виникати за рахунок:

- ✓ переходу на багатозонний тариф (економія +8–18 %),
- ✓ зменшення витрат на обслуговування обладнання (до 5 %),
- ✓ продовження строку служби елементів системи завдяки зниженню навантажень.

4. Оцінка інвестиційних витрат

Загальні інвестиції враховують:

$$\Sigma C_{\text{інв}} = C_{\text{обл}} + C_{\text{монт}} \quad (4.3.)$$

До складу витрат включають:

- ✓ заміну освітлювальних приладів на LED;
- ✓ встановлення автоматичних систем керування освітленням;
- ✓ заміну або модернізацію кабельних ліній;

- ✓ оновлення щитових пристроїв і захисної апаратури;
- ✓ модернізацію системи заземлення та ПЗВ.

Сумарна величина інвестицій залежить від обраного комплексу заходів та масштабу будівлі.

5. Розрахунок терміну окупності

Період окупності заходів визначається як:

$$T_{\text{окуп}} = \frac{\Sigma C_{\text{інв}}}{E_{\text{річн}}} \quad (4.4)$$

Для різних груп заходів характерні такі орієнтовні значення:

- ✓ Заміна освітлення на LED - 1,5–3 роки;
- ✓ Системи автоматизації та керування навантаженнями - 2–4 роки;
- ✓ Заміна кабельних ліній і модернізація щитового обладнання - 4–7 років;
- ✓ Організаційно-технологічні заходи (без капітальних витрат) - окупність до 1 року.

В комплексі середній термін окупності для запропонованих рішень становить 2–5 років, що відповідає нормативним показникам ефективності енергоощадних заходів для будівельного сектору.

6. Інтегральна економічна оцінка

Окрім прямої економії, впроваджені заходи забезпечують:

- ✓ зниження аварійності та витрат на ремонт мереж;
- ✓ покращення рівня електробезпеки;
- ✓ збільшення довговічності обладнання;
- ✓ можливість роботи в оптимальних тарифних режимах;
- ✓ підвищення функціонального комфорту та стабільності живлення.

Сумарний інтегральний ефект перевищує прямий економічний ефект на 10–20 % залежно від інтенсивності експлуатації.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 4:

В розділі «Розробка та оцінка заходів з підвищення енергоефективності системи електропостачання» проведено комплексний аналіз технічного стану системи електропостачання будівлі та розроблено систему заходів, спрямованих на підвищення її енергоефективності, надійності та економічності. На основі виявлених проблем, результатів моделювання та економічної оцінки зроблено такі висновки:

Виявлені проблеми свідчать про значний потенціал енергозбереження, зумовлений застарілим обладнанням, нерівномірністю навантажень, низькою енергоефективністю системи освітлення та перевищенням допустимих втрат у внутрішніх мережах. Аналіз показав, що фактичний рівень енергоспоживання може бути скорочений на 15–30 % за рахунок модернізаційних і організаційних рішень.

Інженерно-технічні заходи, запропоновані в підрозділі 4.2, охоплюють модернізацію кабельних ліній, оновлення захисних апаратів, впровадження LED-освітлення, автоматизованих систем керування та інших енергоощадних технологій. Їх реалізація дозволяє суттєво знизити технічні втрати, підвищити якість електропостачання і забезпечити відповідність сучасним нормативам електробезпеки.

Організаційно-технологічні заходи забезпечують додаткове підвищення ефективності системи без значних вкладень. Оптимізація графіків роботи обладнання, керування навантаженнями, перехід на багатозонні тарифи та впровадження енергетичного менеджменту сприяють скороченню експлуатаційних витрат і підвищенню раціональності використання електроенергії.

Моделювання роботи системи в CADEE.pro підтвердило ефективність запропонованих рішень. Результати показали зниження пікових навантажень, покращення добового профілю споживання, скорочення технічних втрат та зменшення навантаження на елементи мережі. Система після модернізації працює у нормованих режимах, що підвищує її надійність та безпеку.

Економічна оцінка засвідчила доцільність впровадження запропонованого комплексу заходів. Річна економія електроенергії становить 10–25 %, а терміни окупності інвестицій - у межах 2–5 років залежно від типу заходів. Найкоротший термін окупності характерний для модернізації освітлення та впровадження систем автоматизації, тоді як оновлення мереж є довгостроковою інвестицією з додатковим ефектом підвищення надійності.

В цілому реалізація запропонованих заходів забезпечує комплексне підвищення енергоефективності системи електропостачання будівлі, зменшення експлуатаційних витрат, покращення електробезпеки та підвищення комфорту користувачів. Отримані результати підтверджують економічну та технічну доцільність впровадження розробленої програми енергозбереження.

ВИСНОВКИ Й РЕКОМЕНДАЦІЇ:

В першому розділі «Фундаментальні положення енергоаудиту систем електропостачання» було систематизовано теоретичні засади проведення енергетичного аудиту систем електропостачання, які формують науково-методичну основу для подальших розрахунків і прийняття технічних рішень. Проаналізовано сучасні нормативно-правові документи, міжнародні стандарти та методичні рекомендації, що регламентують підходи до оцінювання енергоефективності та визначення енергетичних показників будівель і мереж. Визначено, що ефективний енергоаудит передбачає комплексний підхід - від аналізу балансу електроенергії до оцінки стану електротехнічного обладнання, режимів його роботи та відповідності нормативним вимогам.

Особливу увагу приділено принципам формування енергетичного балансу, оцінці втрат у мережах різних рівнів напруги та методам ідентифікації вузьких місць у системі. Обґрунтовано, що саме детальне дослідження технічного стану та режимів роботи обладнання дозволяє формувати рішення, спрямовані на зниження витрат енергії за рахунок оптимізації завантаження, модернізації інфраструктури та впровадження сучасних систем управління.

Таким чином, у розділі сформовано теоретичну платформу для проведення енергетичного аудиту, яка дозволяє виконати кількісну оцінку параметрів системи електропостачання, визначити пріоритетні напрями енергозбереження та забезпечити наукову обґрунтованість подальших інженерних рішень.

Другий розділ «Характеристика об'єкта дослідження та вихідні дані для енергетичного аудиту» був присвячений комплексному аналізу об'єкта дослідження, включно з описом його архітектурно-планувальних рішень, функціонального призначення, особливостей експлуатації та параметрів системи електропостачання. На підставі зібраних вихідних даних сформовано

інформативну базу, що дозволяє достовірно моделювати енергетичні процеси та розраховувати теплотехнічні й електричні показники.

Детальний огляд електротехнічного обладнання, схем живлення, характеристик мереж та особливостей режимів роботи споживачів дав змогу оцінити рівень технічного зношення, ступінь відповідності сучасним вимогам енергоефективності та виявити ключові джерела втрат електроенергії. Проаналізовано структуру навантажень, добові та сезонні коливання споживання, що є критично важливим для подальшого обґрунтування заходів із підвищення ефективності.

В результаті сформовано повний набір вихідних параметрів, які забезпечують коректність теплотехнічного моделювання, електротехнічних розрахунків і подальшої економічної оцінки запропонованих рішень. Таким чином, другий розділ створює підґрунтя для достовірного енергетичного аналізу та розробки ефективних заходів енергозбереження.

В третьому розділі «Розрахунок теплотехнічних характеристик будівлі в CADEE.pro» проведено теплотехнічні розрахунки будівлі із застосуванням сучасного програмного комплексу CADEE.pro, що забезпечило високу точність визначення теплових потоків, тепловтрат та енергетичних характеристик огорожувальних конструкцій. Виконані моделювання дозволили оцінити відповідність фактичних показників будівлі нормативним вимогам та ідентифікувати конструктивні елементи, які мають найбільший потенціал для оптимізації.

Результати аналізу свідчать про наявність значних теплових втрат через стіни, віконні конструкції та дах, що суттєво впливає на загальний енергетичний баланс. Моделювання показало, які саме конструктивні зміни дають найбільший ефект у зменшенні витрат енергії на опалення та кондиціювання. Це дозволило перейти від загальної оцінки до формування конкретних технічних рішень, спрямованих на підвищення енергоефективності будівлі.

Таким чином, на підставі результатів теплотехнічних розрахунків обґрунтовано необхідність модернізації огорожувальних конструкцій та визначено найефективніші напрями інвестицій у теплоізоляційні заходи, що безпосередньо впливають на зниження енергоспоживання.

В четвертому розділі «Розробка та оцінка заходів з підвищення енергоефективності системи електропостачання» було сформовано комплекс технічних та організаційно-технологічних заходів, спрямованих на зменшення енергетичних втрат, оптимізацію режимів роботи обладнання та підвищення показників ефективності системи електропостачання. Аналіз виявлених проблем продемонстрував наявність значного потенціалу енергозбереження, пов'язаного як зі станом мережевого та освітлювального обладнання, так і з недосконалим управлінням навантаженнями.

На підставі технічних розрахунків і моделювання в середовищі CADEE.pro розроблено найбільш ефективні заходи: модернізація мереж і електротехнічних пристроїв, впровадження енергоощадних систем освітлення, оптимізація графіків роботи обладнання, використання систем автоматизованого контролю та управління енергоспоживанням. Результати моделювання підтвердили, що після реалізації запропонованих рішень очікується зниження втрат, покращення якості електричної енергії та підвищення стабільності роботи системи.

Проведена економічна оцінка, включаючи визначення термінів окупності та чистого економічного ефекту, засвідчила доцільність упровадження запропонованих заходів. Більшість із них мають короткий або середній період окупності та забезпечують сталий економічний результат у довгостроковій перспективі.

Отже, четвертий розділ підтверджує, що ефективне поєднання технічних і організаційних рішень дозволяє значно знизити енергоспоживання, скоротити експлуатаційні витрати та забезпечити комплексне підвищення енергоефективності системи електропостачання об'єкта.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ:

1. Thumann, A., Niehus, T., & Younger, W. (2015). Handbook of Energy Audits (9th ed.). Routledge. ISBN 978-1-138-81327-3.
2. Sendrayaperumal, R., Kumar, S., & Lee, C. (2021). Energy auditing for efficient planning and implementation in commercial and residential buildings. Journal of Building Engineering, 43, 102788. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2021.102788>
3. Shankar, R. (2020). Energy Auditing in Electrical Utilities: Principles, Methods, and Applications. CRC Press. ISBN 978-0-367-41257-8.
4. International Organization for Standardization. (2018). ISO 50001: Energy management systems — Requirements with guidance for use. ISO.
5. International Electrotechnical Commission. (2025). IEC 60364-1: Low-voltage electrical installations - Part 1: Fundamental principles, assessment of general characteristics, definitions. IEC.
6. Державні будівельні норми України. (2010). ДБН В.2.5-23:2010. Енергетична ефективність будівель. Основні положення. Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України.
7. Державні стандарти України. (2016). ДСТУ ISO 50002:2016. Енергетичний аудит - Вимоги та рекомендації. Національний орган стандартизації України.
8. Державне агентство з енергоефективності та енергозбереження України (SAEE). (2023). Методичні рекомендації з проведення енергетичного аудиту житлових будівель. <https://sacee.gov.ua>
9. CADEE.pro. (2023). Документація та навчальні матеріали для енергетичного моделювання будівель. Доступ: <https://www.cadee.pro>
10. European Commission. (2020). Energy Efficiency in Buildings - Guidelines and Best Practices. Publications Office of the European Union.
11. Spudys, P., Jurelionis, A., & Fokaides, P. (2023). Conducting smart energy audits of buildings with the use of building information modelling. Energy

and Buildings, 285, 112884. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2023.112884>
[ScienceDirect](#)

12. Шовкалюк, М. М., Рабенко, Є., & Яценко, О. (2025). Моделювання показників енергоспоживання багатоквартирної будівлі з використанням спеціалізованих програмних продуктів. Науковий журнал «Енергетика: економіка, технології, екологія», 1(2025). <https://doi.org/10.20535/1813-5420.1.2025.324191> energy.kpi.ua

13. Степанов, Д. В., Резидент, Д. М., & Мартиненко, В. В. (2024). Аналіз заходів для підвищення енергоефективності житлового будинку. «Вісник Вінницького політехнічного інституту», вип. 6, 62–67. <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2024-177-6-62-67> visnyk.vntu.edu.ua

14. Вілінська, Л. М., Бурлак, Г. М., & Гурська, А. В. (2023). Енергоефективність багатоквартирного житлового будинку. «Український журнал будівництва та архітектури». <https://doi.org/10.30838/J.BPSACEA.2312.140723.28.951> uajcea.pgasa.dp.ua

15. Ni, Z., Zhang, C., Karlsson, M., & Gong, S. (2023). Leveraging Deep Learning and Digital Twins to Improve Energy Performance of Buildings. arXiv preprint arXiv:2305.04498.

16. Michalakopoulos, V., Pelekis, S., Kormpakis, G., Karakolis, V., Mouzakitis, S., & Askounis, D. (2023). Data-driven building energy efficiency prediction using physics-informed neural networks. arXiv preprint arXiv:2311.08035

17. Mishra, A., Lone, H. R., & Mishra, A. (2023). DECODE: Data-driven Energy Consumption Prediction leveraging Historical Data and Environmental Factors in Buildings.

18. Himeur, Y., Alsalemi, A., Al-Kababji, A., Bensaali, F., Amira, A., Sardianos, C., & Varlamis, I. (2021). A survey of recommender systems for energy efficiency in buildings: Principles, challenges and prospects.