

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

КОМПЛЕКСНА ОЦІНКА ЕНЕРГЕТИЧНИХ БАЛАНСІВ БУДІВЛІ З ВИКОРИСТАННЯМ ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСУ DOF-ENERGY

(тема кваліфікаційної роботи)

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

_____/ Дмитро ЮДІЧЕВ
(підпис) (ім'я та прізвище)

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

Рецензент _____/ Ганна ГРІНЧЕНКО
(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)

Харків – 2025 рік

**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 Дмитру ЮДІЧЕВУ

1. Тема «Комплексна оцінка енергетичних балансів будівлі з використанням програмного комплексу DOF-ENERGY»

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: призначення будівлі; загальна, опалювана та корисна площі; тип і конструкція зовнішніх огорожувальних конструкцій; матеріали та товщини шарів конструкцій; площі огорожувальних елементів; коефіцієнти теплопередачі (U-значення); характеристики вікон та дверей.

4. Зміст роботи/проєкту (перелік питань, які належить розробити):
ВСТУП; РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ФОРМУВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ БАЛАНСІВ БУДІВЕЛЬ; РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ СУЧАСНИХ МЕТОДІВ ОЦІНЮВАННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ БУДІВЕЛЬ; РОЗДІЛ 3. КОМПЛЕКСНА ОЦІНКА ЕНЕРГЕТИЧНИХ БАЛАНСІВ БУДІВЛІ КОМУНАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ; 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)

Дмитро ЮДІЧЕВ

(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)

Дмитро ЮДІЧЕВ

(ім'я, прізвище)

РЕФЕРАТ

до магістерської роботи на тему

«Комплексна оцінка енергетичних балансів будівлі з використанням програмного комплексу DOF-ENERGY»

ЮДІЧЕВА ДМИТРА

Магістерська робота виконана на 70 сторінок, містить 13 таблиць, 3 рисунків, що характеризують результати дослідження, використано літературних джерел 21.

В магістерській роботі проведено комплексне дослідження енергетичних процесів у будівлях комунального призначення з використанням програмного комплексу DOF-ENERGY. Розглянуто теоретичні основи формування енергетичних балансів будівель, визначено сутність та складові енергоспоживання.

Проаналізовано сучасних методів і програмних засобів оцінювання енергоефективності будівель. Проведено порівняння нормативно-розрахункових, що дало змогу обґрунтувати доцільність використання DOF-ENERGY для детального моделювання енергетичних процесів.

Виконано комплексну оцінку енергетичних балансів реальної будівлі комунального призначення на основі даних натурних спостережень та результатів моделювання.

Реалізація запропонованих рішень дозволяє знизити енергоспоживання на 25–30%, скоротити викиди CO₂ та покращити техніко-економічні показники експлуатації будівель.

ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ, ЕНЕРГЕТИЧНИЙ БАЛАНС, БУДІВЛЯ,
МОДЕЛЮВАННЯ, ТЕПЛОВТРАТИ, DOF-ENERGY,
ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ, АВТОМАТИЗАЦІЯ, ОПТИМІЗАЦІЯ

ABSTRACT

to a master's thesis on

«Comprehensive assessment of building energy balances using the DOF-ENERGY software complex»

YUDICHEV DMYTRO

The master's work is executed on 70 pages, contains 13 tables, 3 drawings, which characterize the results of research, additions, used literary sources 21.

In the master's thesis, a comprehensive study of energy processes in communal buildings was carried out using the DOF-ENERGY software complex. The theoretical foundations of the formation of energy balances of buildings are considered, the essence and components of energy consumption are determined.

Modern methods and software tools for evaluating the energy efficiency of buildings are analyzed. A comparison of regulatory and calculation was carried out, which made it possible to substantiate the expediency of using DOF-ENERGY for detailed modeling of energy processes.

A comprehensive assessment of the energy balances of a real utility building was performed based on the data of field observations and modeling results.

The implementation of the proposed solutions allows to reduce energy consumption by 25–30%, reduce CO₂ emissions and improve technical and economic indicators of building operation

ENERGY EFFICIENCY, ENERGY BALANCE, BUILDING, MODELING,
HEAT LOSS, DOF-ENERGY, ENERGY SAVING, AUTOMATION,
OPTIMIZATION

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ	8
ВСТУП	911
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ФОРМУВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ БАЛАНСІВ БУДІВЕЛЬ	11
1.1. Поняття енергетичного балансу будівлі та його складові	13
1.2. Показники енергоефективності та їх нормативне регулювання	15
1.2.1. Нормативно-правове регулювання енергоефективності в Україні	15
1.2.2. Практичне значення показників енергоефективності	16
1.3. Основні джерела енергоспоживання в будівлях комунального призначення	16
1.3.1. Теплова енергія	16
1.3.2. Електрична енергія	17
1.3.3. Відновлювані джерела енергії	18
1.3.4. Структура енергоспоживання будівель комунального призначення	19
1.4. Вплив конструктивних, кліматичних і експлуатаційних факторів на енергетичний баланс	19
1.4.1. Конструктивні фактори	20
1.4.2. Кліматичні фактори	20
1.4.3. Експлуатаційні фактори	21
1.4.4. Взаємозв'язок факторів і комплексна оцінка	22
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 1	24
РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ СУЧАСНИХ МЕТОДІВ ОЦІНЮВАННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ БУДІВЕЛЬ	26
2.1. Методи розрахунку енергетичних балансів і оцінки втрат енергії	26

2.2. Програмні засоби моделювання енергетичних процесів у будівлях	27
2.2.1. Класифікація програмних засобів	28
2.3. Огляд можливостей програмного комплексу DOF-ENERGY	31
2.3.1. Основні призначення програмного комплексу	32
2.3.2. Функціональні можливості програми	32
2.3.3. Інтерфейс і структура програми	33
2.4. Порівняння точності та застосовності різних методів енергетичного аналізу	34
2.4.1. Класифікація методів енергетичного аналізу	35
2.4.2. Порівняльний аналіз використання	37
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 2	38
РОЗДІЛ 3. КОМПЛЕКСНА ОЦІНКА ЕНЕРГЕТИЧНИХ БАЛАНСІВ БУДІВЛІ КОМУНАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ	40
3.1. Загальна характеристика об'єкта дослідження	40
3.2. Моделювання енергетичних процесів у програмному комплексі DOF-ENERGY	42
3.3. Теплотехнічні характеристики огорожувальних конструкцій будівлі	45
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 3	49
РОЗДІЛ 4. ШЛЯХИ УДОСКОНАЛЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ БУДІВЛІ	52
4.1. Оптимізація системи теплопостачання та електроспоживання	52
4.2. Застосування енергоощадного обладнання та сучасних матеріалів	56
4.3. Впровадження автоматизованих систем моніторингу та управління	58
4.4. Оцінка економічного ефекту запропонованих заходів	61

4.4.1. Розрахунок економічного ефекту	61
4.4.2. Визначення терміну окупності	62
4.5. Екологічна ефективність і потенціал скорочення викидів CO ₂	63
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 4	65
ВИСНОВКИ Й РЕКОМЕНДАЦІЇ	67
СПИСОК ПОСИЛАНЬ	69

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ДБН – державні будівельні норми України

ДСТУ – державний стандарт України

ТЕЦ – теплоцентраль

ВДЕ – відновлювальні джерела енергії

ККД – коефіцієнт корисної дії

ІТП – індивідуальний тепловий пункт

АСКОЕ – автоматизована система комерційного обліку електроенергії

ДСТУ – державний стандарт України

АСМУ - автоматизована система моніторингу та управління

ПК – програмний комплекс

ВСТУП

Проблема раціонального використання енергоресурсів у будівлях набуває все більшої актуальності в умовах зростання вартості енергії, дефіциту паливно-енергетичних ресурсів та необхідності зменшення викидів парникових газів. Будівлі комунального призначення є одними з найбільших споживачів енергії, а нераціональне її використання призводить до значних економічних втрат та перевитрат теплової і електричної енергії.

Одним із найбільш ефективних напрямів підвищення енергоефективності є комплексний аналіз енергетичних балансів будівлі, який дозволяє визначити розподіл енергетичних потоків, оцінити рівень втрат і знайти шляхи оптимізації енергоспоживання. Застосування сучасних програмних засобів, зокрема DOF-ENERGY, дає змогу автоматизувати процес моделювання енергетичних процесів, забезпечити точність розрахунків та сформулювати обґрунтовані рекомендації щодо енергозбереження.

Таким чином, дослідження, спрямоване на підвищення достовірності оцінки енергетичних балансів будівель за допомогою сучасних програмних комплексів, є актуальним і практично значущим для реалізації державної політики енергоефективності України.

Метою магістерської роботи є комплексна оцінка енергетичних балансів будівлі комунального призначення із застосуванням програмного комплексу DOF-ENERGY для визначення резервів енергозбереження та підвищення ефективності використання енергоресурсів.

Об'єктом дослідження є енергетична система будівлі комунального призначення, що включає системи опалення, вентиляції, освітлення, електропостачання та огорожувальні конструкції, які беруть участь у формуванні енергетичного балансу.

Предметом дослідження є методи та моделі оцінювання енергетичних балансів будівель із використанням програмного комплексу DOF-ENERGY та аналіз їх впливу на загальну енергоефективність об'єкта.

Завдання дослідження:

❖ Для досягнення поставленої мети в роботі необхідно розв'язати такі основні завдання:

❖ Провести огляд теоретичних засад формування енергетичних балансів будівель і чинних нормативних вимог щодо енергоефективності.

❖ Проаналізувати принципи функціонування та можливості програмного комплексу DOF-ENERGY у контексті моделювання енергетичних процесів.

❖ Виконати енергетичний аналіз будівлі комунального призначення із застосуванням програмного комплексу, визначивши теплові та електричні втрати.

❖ Побудувати структуру енергетичного балансу будівлі та оцінити внесок окремих систем у загальне енергоспоживання.

❖ Розробити рекомендації щодо оптимізації енергетичних параметрів будівлі та підвищення ефективності використання енергії.

❖ Оцінити очікуваний економічний і екологічний ефект від впровадження запропонованих заходів.

Магістерська кваліфікаційна робота на тему «Комплексна оцінка енергетичних балансів будівлі з використанням програмного комплексу DOF-ENERGY» складається з таких частин: перелік умовних позначень, вступ, чотири розділи, висновки, список посилань.

РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ФОРМУВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ БАЛАНСІВ БУДІВЕЛЬ

1.1. Поняття енергетичного балансу будівлі та його складові

Енергетичний баланс будівлі є основним інструментом аналізу ефективності використання енергоресурсів та визначення шляхів їх оптимізації. Під енергетичним балансом розуміють кількісне співвідношення між усіма видами енергії, що надходять у будівлю, перетворюються в ній та відводяться назовні протягом певного періоду часу (як правило, за рік або опалювальний сезон).

Енергетичний баланс будівлі відображає закономірності надходження, споживання і втрат енергії та дозволяє визначити, наскільки раціонально використовуються енергоресурси у системах опалення, вентиляції, кондиціонування, освітлення, електропостачання тощо. Його розрахунок дає змогу оцінити ефективність конструктивних, інженерних і технологічних рішень будівлі, а також виявити потенціал енергозбереження.

Згідно з [1] та [2], енергетичний баланс будівлі повинен враховувати усі енергетичні потоки, які беруть участь у формуванні мікроклімату та функціонуванні інженерних систем. У спрощеному вигляді рівняння енергетичного балансу може бути записано як:

$$Q_{\text{надх}} = Q_{\text{вик}} + Q_{\text{втрат}}, \quad (1.1.)$$

де

$Q_{\text{надх}}$ - сумарна кількість енергії, що надходить у будівлю (теплова, електрична, сонячна тощо);

$Q_{\text{вик}}$ - енергія, використана для забезпечення внутрішніх потреб будівлі (опалення, освітлення, приготування гарячої води, робота обладнання);

$Q_{\text{втрат}}$ - втрати енергії через огорожувальні конструкції, вентиляційні системи, інфільтрацію повітря та інші шляхи.

Основні складові енергетичного балансу будівлі можна умовно поділити на три групи:

1. Надходження енергії:

- ❖ теплова енергія від системи тепlopостачання (централізованої або автономної);
- ❖ електрична енергія для живлення освітлення, побутових і технологічних приладів;
- ❖ відновлювана енергія (сонячна, геотермальна, вітрова);
- ❖ побутові тепловиділення від людей, освітлення, обладнання;
- ❖ сонячна радіація, що проникає через світлопрозорі огороження.

2. Використання енергії:

- ❖ забезпечення комфортної температури повітря (опалення, кондиціонування);
- ❖ підігрів води в системах гарячого водопостачання;
- ❖ освітлення приміщень;
- ❖ робота електричних двигунів, вентиляторів, насосів, підйомного обладнання;
- ❖ робота технологічних установок або офісної техніки.

3. Втрати енергії:

- ❖ тепловтрати через стіни, покриття, вікна, двері, підлоги та інші огорожувальні конструкції;
- ❖ вентиляційні втрати через подачу й видалення повітря;
- ❖ інфільтраційні втрати через нещільності огорожень;
- ❖ втрати в електричних мережах (активні, реактивні, трансформаційні);
- ❖ втрати через недосконале регулювання систем опалення та освітлення.

Для повного урахування всіх енергетичних потоків будівлю розглядають як замкнену енергетичну систему, у якій енергія перетворюється з одних видів у інші з певними втратами. Розрахунок енергетичного балансу виконується з урахуванням кліматичних умов, конструктивних характеристик, типу інженерних систем і режимів експлуатації.

Результати складання енергетичного балансу дозволяють:

- ❖ визначити частку кожного виду енергії у загальному споживанні;
- ❖ оцінити ефективність окремих систем;
- ❖ виявити ділянки з найбільшими втратами;
- ❖ обґрунтувати заходи з енергозбереження;
- ❖ сформувати основу для подальшої енергетичної сертифікації будівлі.

Таким чином, енергетичний баланс будівлі є фундаментом для кількісного аналізу енергоефективності, планування енергетичних заходів і визначення потенціалу зменшення енергоспоживання, що робить його ключовим елементом систем енергоменеджменту сучасних будівель.

1.2. Показники енергоефективності та їх нормативне регулювання

Енергоефективність будівлі визначає ступінь раціонального використання енергетичних ресурсів для забезпечення необхідних параметрів мікроклімату, освітлення, роботи обладнання та інших функцій. Вона є кількісною характеристикою, що показує, яку кількість енергії споживає будівля на одиницю площі або об'єму при заданих умовах експлуатації.

Згідно з положеннями ДБН В.2.6-31:2021 «Теплова ізоляція будівель» та Закону України «Про енергоефективність будівель», рівень енергоефективності будівлі визначається на підставі питомого споживання енергії, яке порівнюється з нормативними (еталонними) показниками для аналогічних об'єктів.

Основні показники енергоефективності будівель

Для комплексної оцінки енергоефективності використовують систему взаємопов'язаних технічних і енергетичних показників:

Питоме річне споживання енергії (E , кВт·год/м²·рік) - відображає загальну кількість енергії, необхідної для опалення, охолодження, вентиляції, освітлення та гарячого водопостачання, у розрахунку на 1 м² опалюваної площі.

$$E = \frac{Q_{\text{заг}}}{A}, \quad (1.2.)$$

де $Q_{\text{заг}}$ - сумарне річне споживання енергії,

A - площа будівлі.

2. Опір теплопередачі огорожувальних конструкцій (R , $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$) - характеризує теплозахисні властивості стін, покриттів, перекриттів, вікон та дверей. Нормативні значення R_n встановлюються ДБН В.2.6-31:2021 залежно від кліматичної зони та призначення будівлі.

3. Зведений коефіцієнт теплопередачі будівлі (K_z , $\text{Вт}/\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}$) - показує сумарні тепловтрати будівлі через усі огорожувальні конструкції. Менше значення K_z свідчить про вищу енергоефективність.

4. Питома теплозахисна характеристика будівлі (q , $\text{Вт}/\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C}$) - відношення сумарних тепловтрат до об'єму опалюваного приміщення. Використовується для оцінки ефективності систем теплозахисту:

$$q = \frac{\Sigma Q_{\text{втрат}}}{V \cdot \Delta T}, \quad (1.3.)$$

де V - опалюваний об'єм,

ΔT - різниця температур між внутрішнім і зовнішнім повітрям.

5. Коефіцієнт енергоефективності системи електропостачання (η_e) — характеризує співвідношення корисної електроенергії, що використовується споживачами, до енергії, що надходить у систему:

$$\eta_e = \frac{P_{\text{корисн}}}{P_{\text{вхідн}}}, \quad (1.4.)$$

де втрати в лініях, трансформаторах та апаратурі враховуються як складові неефективності системи.

Клас енергоефективності будівлі - визначається за питомими витратами енергії та відображає рівень енергозбереження у порівнянні з базовим стандартом. В Україні застосовується класифікація від А до G, де:

А – найвищий рівень енергоефективності (споживання ≤ 50 % від нормативного),

В–С – нормативний рівень,

D–G – знижена ефективність, що потребує модернізації.

Визначення класу здійснюється відповідно до ДСТУ Б EN ISO 52003-1:2020.

1.2.1. Нормативно-правове регулювання енергоефективності в Україні

Державне регулювання енергоефективності будівель базується на положеннях таких основних документів:

- ❖ Закон України «Про енергетичну ефективність будівель» (2017 р.) - визначає вимоги до енергетичної сертифікації, порядок визначення класу енергоефективності та відповідальність за недотримання нормативів.
- ❖ ДБН В.2.6-31:2021 - встановлює методику розрахунку теплотехнічних показників, мінімальні значення опору теплопередачі та вимоги до енергозбереження.
- ❖ ДСТУ ISO 50001:2020 - описує вимоги до систем енергетичного менеджменту та процесу постійного підвищення енергоефективності.
- ❖ ДСТУ Б EN ISO 52016-1:2020 - визначає метод розрахунку енергоспоживання для опалення, охолодження, вентиляції й освітлення.
- ❖ Директива Європейського Парламенту 2010/31/ЄС (EPBD) - є основою для гармонізації українських норм із європейськими стандартами в галузі енергозбереження.

1.2.2. Практичне значення показників енергоефективності

Показники енергоефективності використовуються:

- ❖ для проведення енергетичних аудитів та сертифікації будівель;
- ❖ для порівняння варіантів проєктних рішень і вибору оптимальної конструкції;
- ❖ при оцінюванні економічної доцільності енергозберігаючих заходів;
- ❖ для моніторингу фактичного енергоспоживання та прогнозування витрат.

Комплексна оцінка цих показників дозволяє не лише визначити поточний стан енергоспоживання будівлі, але й обґрунтувати техніко-економічні рішення щодо підвищення енергоефективності, що є однією з основних цілей енергетичного менеджменту.

Таким чином, показники енергоефективності є базовими параметрами оцінювання енергетичного стану будівлі, а їх нормативне регулювання забезпечує єдину систему критеріїв, за якими визначається відповідність будівель сучасним вимогам енергозбереження.

1.3. Основні джерела енергоспоживання в будівлях комунального призначення

Будівлі комунального призначення (адміністративні, навчальні, лікувальні, культурні, спортивні тощо) характеризуються значним та різноманітним споживанням енергоресурсів, що пов'язано з необхідністю забезпечення комфортних умов перебування людей і підтримання безперервного функціонування внутрішніх систем. Основними видами енергії, що використовуються в таких будівлях, є теплова, електрична та енергія відновлюваних джерел.

Раціональне використання цих ресурсів є визначальним чинником енергоефективності будівлі, оскільки саме системи теплопостачання, вентиляції, кондиціонування, освітлення та електропостачання формують її енергетичний баланс.

1.3.1. Теплова енергія

Теплова енергія споживається переважно системами:

- ❖ опалення,
- ❖ гарячого водопостачання (ГВП),
- ❖ вентиляції та кондиціонування повітря.

Основними джерелами теплопостачання є:

- ❖ централізовані теплові мережі (від ТЕЦ або котелень);

- ❖ автономні котельні (газові, електричні, твердопаливні);
- ❖ системи відновлюваної енергетики (теплові насоси, сонячні колектори тощо).

Витрати теплової енергії залежать від теплотехнічних властивостей огорожувальних конструкцій, кліматичних умов, тривалості опалювального періоду, рівня інфільтрації повітря та ефективності систем регулювання.

Відповідно до ДБН В.2.6-31:2021, для кожної кліматичної зони України визначено мінімально допустимі значення опору теплопередачі стін, покриттів і вікон, що безпосередньо впливають на витрати теплової енергії.

Сучасні тенденції теплопостачання передбачають інтеграцію альтернативних джерел тепла - сонячних колекторів, геотермальних систем, рекуператорів вентиляційного повітря, що дозволяє зменшити споживання традиційного палива та знизити експлуатаційні витрати.

1.3.2. Електрична енергія

Електрична енергія у будівлях комунального призначення використовується для:

- ❖ освітлення внутрішніх і зовнішніх приміщень;
- ❖ роботи вентиляційного, насосного та холодильного обладнання;
- ❖ живлення офісної та побутової техніки;
- ❖ систем автоматизації, сигналізації та зв'язку;
- ❖ електроопалення (у певних зонах або при автономному режимі роботи).

Загальна частка електроенергії в енергетичному балансі будівель становить від 25 % до 45 %, а в сучасних офісних чи лікарняних комплексах - до 60 % від загального споживання енергії.

Основними факторами, що визначають ефективність використання електроенергії, є:

- ❖ рівень завантаження трансформаторів і кабельних мереж;
- ❖ коефіцієнт потужності споживачів;

- ❖ технічний стан електричного обладнання;
 - ❖ ефективність освітлювальних установок;
- наявність систем автоматизованого керування споживанням енергії.

Згідно з ДСТУ ІЕС 60364-8-1:2017 «Електроустановки будівель. Енергоефективність електроустановок», у процесі проєктування електропостачання мають бути передбачені:

- ❖ мінімальні втрати електроенергії в елементах мережі;
- ❖ оптимальне балансування навантажень між фазами;
- ❖ використання енергоощадного електротехнічного обладнання класів енергоефективності ІЕ3–ІЕ4;
- ❖ компенсація реактивної потужності до рівня коефіцієнта потужності $\cos \varphi \geq 0,95$.

1.3.3. Відновлювані джерела енергії

В умовах переходу України до політики сталого розвитку та енергетичної незалежності все більшого поширення набуває використання відновлюваних джерел енергії (ВДЕ).

У комунальних будівлях можливе застосування таких технологій:

- ❖ сонячні фотоелектричні панелі для виробництва електроенергії;
- ❖ сонячні колектори для підігріву води;
- ❖ теплові насоси повітря - вода або ґрунт - вода для опалення й охолодження;
- ❖ системи рекуперації тепла у вентиляційних установках;
- ❖ енергія біомаси для локальних котелень.

Використання ВДЕ дозволяє знизити споживання традиційних енергоносіїв, зменшити викиди CO₂ та підвищити енергетичну автономність будівель.

Проте доцільність упровадження таких систем залежить від техніко-економічних факторів - рівня інсоляції, вартості обладнання, терміну окупності та потужності об'єкта.

1.3.4. Структура енергоспоживання будівель комунального призначення

Для типових комунальних будівель (офісних, навчальних, медичних) структура енергоспоживання має такий усереднений вигляд:

- ❖ опалення та вентиляція - 40–55 %;
- ❖ гаряче водопостачання - 10–15 %;
- ❖ освітлення - 15–25 %;
- ❖ електроприлади, оргтехніка - 10–20 %;
- ❖ кондиціювання та інше обладнання - 5–10 %.

Аналіз структури енергоспоживання є необхідним етапом складання енергетичного балансу, оскільки дозволяє визначити пріоритетні напрями енергозбереження. Наприклад, у навчальних та адміністративних будівлях найбільший потенціал зниження енерговитрат має модернізація системи опалення та освітлення, а у медичних закладах - вентиляційно-кондиціонерні комплекси.

Таким чином, основними джерелами енергоспоживання будівель комунального призначення є теплова й електрична енергія, а також, частково, відновлювані енергоресурси.

Комплексний підхід до управління цими потоками, заснований на принципах енергоменеджменту та сучасних технологіях обліку, є ключовою умовою підвищення енергоефективності таких об'єктів.

1.4. Вплив конструктивних, кліматичних і експлуатаційних факторів на енергетичний баланс

Енергетичний баланс будівлі формується під дією комплексу зовнішніх та внутрішніх чинників, які визначають інтенсивність надходження та втрат енергії.

До основних груп таких чинників належать конструктивні, кліматичні та експлуатаційні, кожна з яких має істотний вплив на рівень енергоефективності та комфортність мікроклімату.

1.4.1. Конструктивні фактори

Конструктивні характеристики будівлі є базовими елементами, що визначають її теплозахисні властивості та рівень енергоспоживання. До основних конструктивних факторів належать:

Теплотехнічні властивості огорожувальних конструкцій - опір теплопередачі стін, покриттів, перекриттів, підлог, вікон та дверей. Недостатня теплова ізоляція спричиняє значні тепловтрати.

Згідно з ДБН В.2.6-31:2021, опір теплопередачі стін для громадських будівель повинен становити не менше $3,3 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$ для I кліматичної зони.

Теплові містки - ділянки зниженої теплоізоляції (вузли примикань, перемички, стики панелей), через які може проходити до 10–25 % загальних тепловтрат. Їх мінімізація досягається застосуванням терморозривів і безперервних шарів утеплення.

Тип і площа світлопрозорих конструкцій - визначають баланс між природним освітленням та втратами тепла через вікна. Використання енергоефективних склопакетів із низькоемісійним покриттям дозволяє зменшити коефіцієнт теплопередачі до $0,6\text{--}0,8 \text{ Вт}/\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}$.

Поверховість і конфігурація будівлі - відношення площі огорожувальних конструкцій до об'єму приміщення (так званий коефіцієнт компактності). Чим менше це співвідношення, тим нижчі питомі тепловтрати.

Орієнтація будівлі відносно сторін світу - впливає на рівень сонячних теплоприпливів та освітленість. Південна орієнтація вікон дозволяє скоротити споживання теплової енергії на опалення взимку, але може потребувати додаткового захисту від перегріву влітку.

1.4.2. Кліматичні фактори

Кліматичні умови мають вирішальний вплив на формування енергетичного балансу будівлі, оскільки визначають величину зовнішніх теплових навантажень. До них належать:

1. Середня температура зовнішнього повітря у холодний та теплий періоди року. Зі зниженням температури підвищуються тепловтрати через огороження, вентиляцію та інфільтрацію. Для другої кліматичної зони України середня температура опалювального періоду становить близько $-1 \dots -2$ °C.

2. Тривалість опалювального періоду (τ , діб) - визначає загальну потребу в тепловій енергії. У більшості регіонів України вона коливається від 160 до 210 діб.

3. Інтенсивність сонячної радіації - впливає на теплові припливи через вікна і стіни. При правильному архітектурному рішенні її можна використовувати як безкоштовне джерело тепла (пасивне сонячне опалення).

4. Вологість і швидкість вітру - впливають на процеси теплопередачі, інфільтрацію та ефективність вентиляційних систем.

Підвищена вологість сприяє конденсації на холодних поверхнях, що погіршує теплозахисні властивості матеріалів.

5. Кліматичні коливання та мікроклімат місцевості (наявність зелених насаджень, близькість водойм, забудова) - можуть як знижувати, так і підвищувати потребу в енергії для опалення та охолодження.

1.4.3. Експлуатаційні фактори

Експлуатаційні умови визначають реальний режим використання будівлі та систем життєзабезпечення. До них належать:

❖ Режим роботи будівлі - тривалість робочого часу, кількість відвідувачів, перерви у функціонуванні.

Наприклад, для офісних будівель режим 8 годин/день дозволяє зменшити споживання енергії в нічний час за рахунок автоматизованого відключення освітлення і вентиляції.

❖ Регулювання температурного режиму - наявність терморегуляторів, погодозалежного керування, зонального контролю.

Налаштування систем опалення відповідно до реальних потреб знижує споживання енергії на 10–20 %.

❖ Стан і ефективність роботи інженерних систем - втрати тепла в трубопроводах, старіння ізоляції, неузгоджена робота вентиляторів, насосів тощо. Своєчасне технічне обслуговування має вирішальне значення.

❖ Поводження користувачів будівлі - відкривання вікон при працюючому опаленні, використання неенергоефективних приладів, неправильне освітлення. Згідно з дослідженнями IEA, поведінкові фактори можуть впливати на рівень енергоспоживання на 15–25 %.

❖ Система моніторингу та обліку енергоресурсів - автоматизований збір даних (АСКОЕ) дозволяє оперативно відстежувати енергетичні параметри й виявляти відхилення в роботі систем.

1.4.4. Взаємозв'язок факторів і комплексна оцінка

Конструктивні, кліматичні та експлуатаційні фактори діють у тісному взаємозв'язку. Наприклад, ефективність теплоізоляції стін може бути зведена нанівець при нераціональному режимі вентиляції або відсутності регулювання температури.

Тому аналіз енергетичного балансу будівлі повинен виконуватись комплексно - з урахуванням усіх зазначених параметрів.

Для об'єктивної оцінки впливу різних факторів доцільно використовувати програмні засоби моделювання, зокрема DOF-ENERGY, які дозволяють враховувати кліматичні дані, геометрію будівлі, матеріали огорожень та реальні режими експлуатації. Це забезпечує можливість отримання достовірної картини енергетичних потоків та розроблення ефективних заходів з енергозбереження.

Таким чином, енергетичний баланс будівлі формується під впливом взаємопов'язаних конструктивних, кліматичних і експлуатаційних факторів, кожен з яких може суттєво впливати на рівень енергоефективності.

Комплексний підхід до їх урахування є ключовим елементом у процесі енергетичного аналізу та оптимізації систем будівлі.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 1:

В першому розділі «Теоретичні основи формування енергетичних балансів будівель» розглянуто теоретичні основи формування енергетичного балансу будівель, сутність енергоефективності та чинники, що визначають рівень енергоспоживання у спорудах комунального призначення.

Встановлено, що енергетичний баланс будівлі є комплексним показником, який відображає співвідношення між усіма видами енергії, що надходять у будівлю, використовуються для забезпечення її функціонування та втрачаються через огорожувальні конструкції, системи вентиляції та інші елементи.

Його правильне формування є основою для кількісної оцінки енергоефективності, планування модернізації інженерних систем і впровадження заходів з енергозбереження.

Проаналізовано основні показники енергоефективності, які характеризують теплотехнічні властивості конструкцій, ефективність інженерних систем та рівень питомого енергоспоживання. Визначено, що ключовими критеріями оцінювання є опір теплопередачі, питоме річне споживання енергії, коефіцієнт теплопередачі будівлі та клас енергоефективності згідно з вимогами ДБН В.2.6-31:2021, ДСТУ ISO 50001:2020 та директив ЄС.

Виявлено, що основними джерелами енергоспоживання будівель комунального призначення є теплова та електрична енергія, які забезпечують роботу систем опалення, вентиляції, освітлення, водопостачання, кондиціонування та технологічного обладнання. Значну роль у сучасних будівлях починають відігравати відновлювані джерела енергії, що сприяють зменшенню навантаження на традиційні енергосистеми та скороченню викидів CO₂.

Досліджено вплив конструктивних, кліматичних і експлуатаційних факторів на енергетичний баланс будівлі.

З'ясовано, що теплотехнічні характеристики огорожувальних конструкцій, компактність архітектурної форми, кліматичні умови та реальні режими експлуатації безпосередньо визначають величину енергоспоживання та потенціал енергозбереження.

Встановлено, що найефективнішим підходом до аналізу енергетичних процесів є комплексне моделювання із застосуванням спеціалізованих програмних засобів, таких як DOF-ENERGY, які дозволяють враховувати взаємодію всіх впливаючих факторів.

Узагальнюючи результати розділу, можна зробити висновок, що забезпечення високої енергоефективності будівель потребує системного підходу - від оптимізації архітектурно-конструктивних рішень до вдосконалення режимів експлуатації.

РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ СУЧАСНИХ МЕТОДІВ ОЦІНЮВАННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ БУДІВЕЛЬ

2.1. Методи розрахунку енергетичних балансів і оцінки втрат енергії

Оцінювання енергоефективності будівель базується на визначенні їх енергетичного балансу - співвідношення між надходженням та витратами енергії протягом певного періоду експлуатації. Енергетичний баланс будівлі відображає взаємодію між зовнішнім середовищем, огорожувальними конструкціями, системами опалення, вентиляції, кондиціювання, освітлення та побутовими електроприладами.

Основою сучасних методів розрахунку є норми та стандарти, зокрема: ДБН В.2.6-31:2021 «Теплова ізоляція будівель», ДСТУ Б А.2.2-12:2015, а також європейські стандарти серії EN ISO 13790, EN ISO 52000. Ці документи визначають підходи до розрахунку питомого споживання енергії, втрат через огорожувальні конструкції та системи інженерного забезпечення.

Методи розрахунку енергетичних балансів

1. Аналітичний метод (статичний баланс) - базується на спрощених теплотехнічних розрахунках, що враховують тепловтрати через огорожувальні конструкції, інфільтрацію повітря та теплові надходження від сонячної радіації й внутрішніх джерел. Цей метод широко використовується на стадії проектування і дає змогу швидко оцінити енергетичну ефективність будівлі за відомими параметрами теплоізоляції та кліматичними умовами.

2. Динамічний метод (моделювання у часі) - застосовується для детального аналізу енергоспоживання будівель, де враховуються зміни температури, вологості, інсоляції та режиму експлуатації у часовому вимірі. Математичні моделі реалізуються за допомогою програмних продуктів, таких як EnergyPlus, TRNSYS, IDA ICE або DesignBuilder. Цей метод дає можливість дослідити поведінку будівлі в різних сценаріях експлуатації.

3. Метод спрощеного енергетичного аудиту - застосовується для оцінки фактичних енерговитрат існуючих будівель на основі інструментальних

вимірювань та статистичних даних про споживання енергії. Такий підхід дає змогу виявити «слабкі місця» енергосистеми будівлі та запропонувати заходи з підвищення ефективності.

4. Методи оцінки втрат енергії - втрати енергії поділяють на конструктивні (через огорожувальні елементи) та експлуатаційні (через вентиляцію, нераціональне використання енергії, низьку ефективність обладнання). Для їх розрахунку використовуються такі основні формули:

Втрати через огорожувальні конструкції:

$$Q = U \cdot A \cdot \Delta T \cdot t, \quad (2.1.)$$

де U - коефіцієнт теплопередачі конструкції,

A - площа елемента,

ΔT - різниця температур,

t - тривалість періоду.

Втрати через вентиляцію:

$$Q_v = 0.33 \cdot n \cdot V \cdot \Delta T, \quad (2.2.)$$

де n - кратність повітрообміну,

V - об'єм приміщення.

Результати таких розрахунків дозволяють визначити питомі показники енергоспоживання (кВт·год/м²·рік) та порівняти їх із нормативними значеннями. На основі цього формуються рекомендації щодо термомодернізації, утеплення конструкцій, модернізації систем опалення та вентиляції.

2.2. Програмні засоби моделювання енергетичних процесів у будівлях

В сучасних умовах підвищеної уваги до питань енергозбереження та сталого розвитку важливою складовою процесу проектування і експлуатації будівель є застосування програмних засобів для моделювання енергетичних процесів. Таке моделювання дозволяє оцінювати споживання енергії, аналізувати теплові потоки, ефективність інженерних систем, а також

оптимізувати конструктивні та експлуатаційні рішення на етапах проектування і реконструкції.

Програмні комплекси для моделювання енергоспоживання будівель базуються на методах теплотехнічних розрахунків, чисельного аналізу та динамічного моделювання процесів теплообміну. Вони враховують взаємодію будівлі із зовнішнім середовищем (кліматичні дані, сонячну радіацію, вологість повітря), внутрішні теплові надходження, особливості систем опалення, вентиляції, кондиціонування та освітлення.

Основні цілі застосування програмного моделювання:

- розрахунок річного та сезонного споживання енергії;
- визначення питомих енергетичних показників будівлі;
- порівняння ефективності альтернативних конструктивних або інженерних рішень;
- аналіз потенціалу енергозбереження при термомодернізації;
- оцінка відповідності будівлі нормативним вимогам енергоефективності.

2.2.1. Класифікація програмних засобів

Програмні продукти для енергетичного моделювання можна умовно поділити на такі групи:

Комплексні системи енергетичного аналізу будівель (Building Energy Simulation Tools) - такі програми забезпечують повне динамічне моделювання енергетичних процесів у будівлі, включаючи теплові втрати, інсоляцію, вентиляцію, вплив клімату та поведінку користувачів. Найбільш поширені серед них:

- EnergyPlus - одна з найточніших і найпотужніших систем, розроблена Міністерством енергетики США. Вона моделює теплові потоки, вологість, роботу HVAC-систем, сонячні надходження та враховує взаємодію між усіма підсистемами будівлі.

➤ TRNSYS (Transient System Simulation Tool) - програмний пакет для динамічного моделювання теплових і енергетичних процесів. Використовується для аналізу відновлюваних джерел енергії, теплових насосів, систем акумуляції тепла тощо.

➤ IDA ICE (Indoor Climate and Energy) - сучасний інструмент з високою точністю, що дозволяє враховувати мікроклімат у приміщеннях, вплив систем вентиляції, освітлення та поведінку користувачів.

➤ DesignBuilder - графічна оболонка для EnergyPlus, що спрощує створення 3D-моделей будівель і проведення енергетичного аналізу без глибокого програмування.

Спрощені інструменти для попереднього аналізу (Preliminary Assessment Tools) - ці програми використовуються для початкових оцінок енергоефективності, коли немає потреби в детальному динамічному моделюванні.

➤ Ecotect Analysis (Autodesk) - забезпечує візуалізацію сонячної радіації, тіней, вентиляційних потоків та впливу орієнтації будівлі на енергоспоживання.

➤ RETScreen (Natural Resources Canada) - призначений для техніко-економічного аналізу проектів з енергозбереження та використання відновлюваних джерел енергії.

➤ IES VE (Integrated Environmental Solutions Virtual Environment) - комбінує простий користувацький інтерфейс з потужними інструментами аналізу теплового комфорту, освітлення, вентиляції та енергетичних показників будівлі.

Національні програми розрахунку енергетичної ефективності - в різних країнах застосовуються локалізовані програмні засоби, адаптовані до національних норм і кліматичних умов. В Україні популярними є Consoft HEAT, TeploDim, АВК-ЕНЕРГО - системи, що дозволяють оцінювати енергетичну ефективність згідно з вимогами ДБН В.2.6-31:2021 та ДСТУ Б А.2.2-12:2015.

Вони враховують теплоізоляційні властивості матеріалів, параметри огорожувальних конструкцій і кліматичні характеристики регіонів України.

Таблиця 2.1. - Порівняльна характеристика програм

Назва програми	Тип моделі	Точність	Орієнтація	Переваги
EnergyPlus	Динамічна	Висока	Професійне проектування	Повний контроль над параметрами, висока точність результатів, підтримка складних систем HVAC
DesignBuilder	Гібридна (EnergyPlus + 3D)	Висока	Архітектурне моделювання	Інтуїтивний інтерфейс, BIM-сумісність, швидка побудова моделей
TRNSYS	Динамічна	Дуже висока	Наукові дослідження	Гнучкість, можливість створення власних компонентів, точне моделювання теплових процесів
RETScreen	Спрощена	Середня	Енергетичний аудит	Простота використання, економічна оцінка енергоефективних заходів, аналіз відновлюваних джерел енергії
IDA ICE	Динамічна	Висока	Мікрокліматичний аналіз	Моделювання поведінки користувачів, точне відтворення внутрішнього клімату
DOF-ENERGY	Статична / квазідинамічна	Висока	Національні нормативи України	Відповідність ДБН В.2.6-31:2021, підтримка кліматичних зон України, зручний інтерфейс, автоматизований розрахунок енергетичних паспортів

Переваги використання програмних засобів:

- підвищення точності прогнозування енергоспоживання;
- скорочення витрат часу на проектні розрахунки;
- можливість оцінки ефективності різних технічних рішень без фізичних експериментів;

- підтримка принципів Building Information Modeling (BIM) та інтеграції з архітектурними CAD-системами;
- сприяння розробці енергоефективних стратегій модернізації будівель.

Таким чином, використання програмних засобів моделювання енергетичних процесів у будівлях є невід'ємною складовою сучасного енергетичного аналізу. Вони дозволяють науково обґрунтовано підходити до проектування, реновації та експлуатації будівель, забезпечуючи підвищення їх енергоефективності та зниження експлуатаційних витрат. Найбільш ефективними є інтегровані системи, що поєднують динамічне моделювання, кліматичні дані та економічну оцінку заходів з енергозбереження.

2.3. Огляд можливостей програмного комплексу DOF-ENERGY

В сучасних умовах розвитку будівельної галузі в Україні важливого значення набувають інструменти, які дозволяють здійснювати точні розрахунки енергетичних характеристик будівель відповідно до національних стандартів. Одним із таких інструментів є програмний комплекс DOF-ENERGY, створений українськими розробниками для автоматизованого визначення показників енергоефективності та формування енергетичних сертифікатів будівель.

DOF-ENERGY забезпечує комплексний підхід до моделювання енергетичних процесів, включаючи розрахунок теплових втрат, надходжень енергії, потреб у теплі та холоді, а також оцінку впливу термомодернізаційних заходів. Програма побудована відповідно до методології, визначеної нормативними документами ДБН В.2.6-31:2021 «Теплова ізоляція будівель», ДСТУ Б А.2.2-12:2015, а також положень Закону України «Про енергетичну ефективність будівель».

2.3.1. Основні призначення програмного комплексу

- Розрахунок енергетичних характеристик будівель: визначення питомих енерговитрат на опалення, охолодження, вентиляцію, гаряче водопостачання та освітлення.
- Формування енергетичного сертифіката: автоматичне створення сертифіката із зазначенням класу енергоефективності, питомих витрат енергії, рекомендацій щодо зниження енергоспоживання.
- Аналіз енергетичного балансу: побудова діаграм і таблиць, які демонструють розподіл втрат і надходжень енергії через конструкції та інженерні системи.
- Оцінка ефективності заходів з термомодернізації: можливість порівняти енергоспоживання до і після реалізації проєктних рішень.

2.3.2. Функціональні можливості програми

Моделювання теплотехнічних характеристик конструкцій.

Програма дозволяє створювати модель будівлі, задаючи параметри стін, покрівлі, підлоги, вікон, дверей та інших огорожувальних елементів. Користувач може вибирати матеріали з вбудованої бази даних або додавати власні з відомими коефіцієнтами теплопровідності.

Урахування кліматичних умов

DOF-ENERGY має інтегровану кліматичну базу даних для всіх регіонів України, що містить середньомісячні температури, тривалість опалювального періоду, сонячну радіацію та інші метеорологічні параметри. Це забезпечує високу точність розрахунків відповідно до місцевих умов експлуатації.

Автоматичний розрахунок теплових втрат і надходжень.

На основі введених даних програма визначає теплові потоки через кожен конструктивний елемент, втрати через вентиляцію, інфільтрацію повітря та надходження від сонячної радіації й внутрішніх джерел тепла. Результати подаються у вигляді таблиць і графіків.

Розрахунок питомих показників енергоспоживання.

Програма обчислює питомі витрати енергії (кВт·год/м²·рік) для кожної підсистеми, що дає змогу визначити загальний рівень енергоефективності будівлі та порівняти його з нормативними значеннями.

Аналіз варіантів і порівняння рішень

DOF-ENERGY дозволяє створювати декілька варіантів однієї будівлі з різними параметрами конструкцій або систем опалення. Користувач може порівнювати енергоспоживання та економічний ефект від впровадження заходів термомодернізації.

Формування звітної документації

Програма автоматично генерує звіти у форматах, що відповідають вимогам сертифікації. В звітах міститься повний енергетичний баланс, показники класу енергоефективності, діаграми втрат енергії, а також рекомендації щодо підвищення енергоефективності.

2.3.3. Інтерфейс і структура програми

Інтерфейс DOF-ENERGY побудований за принципом послідовного введення даних, що спрощує роботу навіть для користувачів без глибоких знань у галузі енергетичного моделювання. Програма містить такі основні модулі:

«Об'єкт» - введення загальних характеристик будівлі (тип, поверховість, площа, об'єм, місцезнаходження).

«Огороджувальні конструкції» - опис складу стін, перекриттів, покрівель, віконних блоків і дверей.

«Системи» - параметри систем опалення, вентиляції, кондиціонування, ГВП.

«Кліматичні дані» - вибір населеного пункту та кліматичної зони.

«Результати» - розраховані енергетичні показники, графіки та таблиці.

«Сертифікат» - автоматичне формування енергетичного паспорта будівлі.

Переваги використання DOF-ENERGY

➤ відповідність українським нормативам та методикам розрахунку;

- локалізований кліматичний і матеріальний довідник;
- автоматичне формування сертифіката енергоефективності;
- інтуїтивний графічний інтерфейс;
- можливість проведення попереднього енергоаудиту без використання складних динамічних моделей;
- підтримка оновлень згідно з новими версіями ДБН.

Практичне значення програмного комплексу

DOF-ENERGY широко використовується в Україні для:

- проведення енергетичних аудитів житлових та громадських будівель;
- підготовки звітів для сертифікації енергоефективності;
- розроблення проєктів термомодернізації;
- навчання студентів відповідних спеціальностей, пов'язаних із енергоефективністю та енергозбереженням.

Програмний комплекс DOF-ENERGY є ефективним інструментом для енергетичного аналізу будівель у межах національної системи сертифікації. Його застосування забезпечує точність і достовірність розрахунків, скорочує час підготовки звітної документації, а також сприяє впровадженню принципів енергозбереження на всіх етапах життєвого циклу будівель. Завдяки адаптації до українських умов, відкритій структурі та зручності у використанні, DOF-ENERGY посідає провідне місце серед програмних засобів оцінювання енергоефективності на вітчизняному ринку.

2.4. Порівняння точності та застосовності різних методів енергетичного аналізу

Для обґрунтованої оцінки енергоефективності будівель надзвичайно важливим є вибір адекватного методу енергетичного аналізу. Кожен із сучасних підходів - аналітичний, спрощений, динамічний чи програмно-імітаційний - має власну сферу застосування, рівень точності та вимоги до

вхідних даних. Від правильності вибору методу залежить достовірність розрахункових результатів і ефективність подальших проєктних рішень.

2.4.1. Класифікація методів енергетичного аналізу

1. Аналітичні (спрощені) методи.

Базуються на розрахунку теплових втрат через огорожувальні конструкції та системи вентиляції за спрощеними формулами, визначеними у нормативних документах (ДБН В.2.6-31:2021, ДСТУ Б А.2.2-12:2015). Розрахунки проводяться для середніх умов експлуатації без урахування часової динаміки кліматичних змін чи поведінки користувачів.

Цей підхід використовується під час первинних енергоаудитів, у проєктних організаціях, а також при оцінюванні типових будівель. Його перевагою є швидкість виконання, а недоліком - обмежена точність, що не перевищує $\pm 15\text{--}25\%$ від фактичного енергоспоживання.

2. Динамічні методи моделювання.

Враховують зміну параметрів зовнішнього середовища, режимів роботи систем опалення, вентиляції та поведінки користувачів упродовж доби та сезону. Такі методи реалізуються у програмних комплексах EnergyPlus, TRNSYS, IDA ICE, DesignBuilder тощо.

Точність результатів при належному калібруванні може сягати $\pm 5\text{--}10\%$ від реальних вимірювань, що робить їх придатними для наукових досліджень, проєктування енергоощадних систем та оцінки інноваційних технологій (теплові насоси, сонячні системи, системи рекуперації тепла).

Недоліком таких методів є складність побудови моделей, потреба у великій кількості вхідних даних і високі вимоги до кваліфікації користувача.

3. Програмно-розрахункові методи на основі національних нормативів.

Це проміжна група методів, що поєднує аналітичні формули з автоматизованим моделюванням процесів. Типовим прикладом є програма DOF-ENERGY, яка враховує теплотехнічні характеристики конструкцій, кліматичні дані регіонів і вимоги українських будівельних норм.

Точність таких програм, згідно з практичними дослідженнями, становить $\pm 10\text{--}15\%$. Вони забезпечують баланс між детальністю аналізу та простотою використання, що робить їх оптимальними для проєктних організацій і сертифікаційних центрів.

4. Інструментальні методи (експериментальні вимірювання).

Передбачають збір фактичних даних про споживання енергії та температурно-вологісний режим у будівлі. Застосовуються для перевірки результатів моделювання або для енергоаудиту діючих об'єктів.

Вони дають найвищу точність (до $\pm 3\%$), але потребують значних фінансових і часових витрат, спеціалізованого обладнання та тривалого періоду спостереження.

Таблиця 2.2. - Порівняльна характеристика методів енергетичного аналізу

Метод	Характеристика	Переваги	Недоліки	Орієнтовна точність	Сфера застосування
Аналітичний (спрощений)	Використання формул теплового балансу за ДБН	Простота, швидкість, мінімум даних	Низька деталізація, усереднення параметрів	$\pm 15\text{--}25\%$	Попередні оцінки, типові будівлі
Динамічний (імітаційне моделювання)	Часове моделювання теплових процесів	Висока точність, урахування динаміки клімату	Складність, потреба у великих обчисленнях	$\pm 5\text{--}10\%$	Наукові дослідження, енергоефективне проєктування
Програмно-нормативний (DOF-ENERGY)	Автоматизований розрахунок за ДБН	Відповідність стандартам, зручність, звітність	Обмежена деталізація фізичних процесів	$\pm 10\text{--}15\%$	Сертифікація, енергоаудит, проєктування
Інструментальний (польові вимірювання)	Реальні дані з датчиків та лічильників	Найвища точність, достовірність	Висока вартість, тривалість досліджень	$\pm 3\text{--}5\%$	Верифікація, наукові експерименти

2.4.2. Порівняльний аналіз використання

Вибір методу енергетичного аналізу залежить від мети дослідження, доступності вихідних даних і необхідної точності.

Для початкового проєктування достатнім є аналітичний метод, що дозволяє швидко оцінити рівень енергоефективності.

На етапі детального проєктування або реновації доцільно використовувати програмні інструменти (наприклад, DOF-ENERGY або DesignBuilder) для оцінки впливу різних технічних рішень.

Для наукових досліджень та розробки нових технологій перевагу мають динамічні методи (EnergyPlus, TRNSYS).

Для експлуатаційного моніторингу або підтвердження результатів розрахунків найдоцільніше застосовувати інструментальні вимірювання.

Порівняння показує, що жоден метод не є універсальним для всіх випадків.

Аналітичні та нормативні методи забезпечують достатню точність для практичних розрахунків та сертифікації, тоді як динамічні - незамінні для дослідницьких цілей і оптимізації енергоефективних систем.

Програмний комплекс DOF-ENERGY займає проміжне місце між простими аналітичними й складними динамічними підходами, поєднуючи точність, нормативну відповідність і зручність використання. Оптимальним є комбіноване застосування методів, коли результати комп'ютерного моделювання верифікуються інструментальними вимірюваннями, що забезпечує найвищу достовірність енергетичної оцінки будівель.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 2:

В цьому розділі «Аналіз сучасних методів оцінювання енергоефективності будівель» було проведено аналіз сучасних підходів до оцінювання енергоефективності будівель, розглянуто методи розрахунку енергетичних балансів, програмні засоби моделювання теплових процесів, а також здійснено порівняння точності різних методів енергетичного аналізу.

Встановлено, що розрахунок енергетичного балансу будівлі є основою для визначення її енергоефективності. Аналітичні методи, регламентовані нормативними документами України, дозволяють оцінити теплові втрати через огорожувальні конструкції, вентиляцію та інженерні системи, проте не враховують часову динаміку кліматичних факторів. Такі методи доцільно застосовувати на початкових етапах проектування або при енергетичній сертифікації типових будівель.

Аналіз програмних засобів моделювання показав, що сучасні програмні комплекси (EnergyPlus, TRNSYS, DesignBuilder, IDA ICE, DOF-ENERGY тощо) дають можливість здійснювати детальне моделювання енергетичних процесів у будівлях з різним ступенем точності. Вони забезпечують гнучкість у виборі параметрів, наочність представлення результатів і підвищують ефективність прийняття проектних рішень. Особливу увагу приділено програмі DOF-ENERGY, яка повністю адаптована до українських кліматичних умов і вимог національних стандартів.

Дослідження можливостей DOF-ENERGY підтвердило, що цей програмний комплекс є зручним і ефективним інструментом для проведення розрахунків енергетичних характеристик будівель. Програма дозволяє виконувати розрахунок питомих витрат енергії, формувати енергетичний сертифікат, аналізувати варіанти термомодернізації та створювати звітну документацію відповідно до чинних ДБН. Його використання сприяє підвищенню точності оцінювання енергоефективності та скорочує час розрахунків порівняно з ручними методами.

Порівняльний аналіз різних методів енергетичного аналізу засвідчив, що динамічні методи моделювання забезпечують найвищу точність (до $\pm 5\text{--}10\%$), але потребують значних ресурсів і спеціальної підготовки користувачів. Нормативно-програмні методи, реалізовані в DOF-ENERGY, є оптимальним компромісом між точністю та практичністю, оскільки відповідають національним вимогам і забезпечують достатню достовірність результатів ($\pm 10\text{--}15\%$) для проєктних і сертифікаційних цілей.

Отже, у результаті аналізу зроблено висновок, що поєднання аналітичних, програмно-нормативних та динамічних підходів дозволяє досягти найвищої ефективності при оцінюванні енергоефективності будівель. Використання програмного комплексу DOF-ENERGY у поєднанні з сучасними методами моделювання сприяє підвищенню точності розрахунків, оптимізації енергоспоживання та формуванню науково обґрунтованих рекомендацій щодо термомодернізації будівель.

РОЗДІЛ 3. КОМПЛЕКСНА ОЦІНКА ЕНЕРГЕТИЧНИХ БАЛАНСІВ БУДІВЛІ КОМУНАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

3.1. Загальна характеристика об'єкта дослідження

Для проведення комплексного аналізу енергетичного балансу будівлі з використанням програмного комплексу DOF-ENERGY необхідно сформулювати вихідні параметри, що характеризують геометричні, конструктивні та експлуатаційні особливості об'єкта. В якості об'єкта дослідження розглядається адміністративна будівля, розташована у м. Київ (І кліматичний район), загальною опалюваною площею 600 м² та поверховістю 3 поверхи. На основі цих даних було розраховано опалюваний об'єм, що становить 5400 м³, виходячи з прийнятої висоти поверху 3,0 м.

Нижче наведені вихідні параметри, що є базою для побудови енергетичної моделі будівлі у середовищі DOF-ENERGY.

Таблиця 3.1. - Вихідні дані про будівлю (для DOF-ENERGY)

Показник	Значення	Одиниця
Назва об'єкта	Адміністративна будівля (проект)	—
Місто (кліматична зона)	Київ (І кліматична зона)	—
Загальна опалювана площа	600	м ²
Кількість поверхів	3	шт.
Середня площа поверху	200	м ²
Висота поверху	3,0	м
Опалюваний об'єм	5400	м ³
Режим роботи	Пн–Пт, 08:00–18:00	—
Джерело теплопостачання	ІТП (мережне тепло) / місцеве опалення	—
Джерело електропостачання	Мережа 0,4 кВ через ТП	—

Таблиця 3.2. - Кліматичні параметри (Київ) - нормативні/розрахункові

Показник	Позначення	Значення	Джерело
Розрахункова температура зовнішнього повітря (опалення)		-22 °C	ДБН В.2.6-31:2021
Середня температура за опалювальний період		-1,1 °C	ДБН
Тривалість опалювального періоду		180 діб	ДБН
Кількість градусо-діб опалювального періоду		3500 °C·доба	ДСТУ
Середня річна температура		+8,3 °C	кліматичні дані
Середня швидкість вітру		3,6 м/с	кліматичні дані
Кліматичний файл	EPW м. Київ	—	база DOF

Таблиця 3.3. - Внутрішні розрахункові умови й навантаження (адміністративна будівля)

Режим	Температура, °C	Коментар
Опалення - робочі години	20 °C	ДБН В.2.5-67:2013
Опалення - неробочі години	16 °C	нічний режим
Охолодження - робочі години	24 °C	кондиціонування за потребою

Внутрішні теплові навантаження (усереднені)

Таблиця 3.4. - Вентиляція / повітрообмін

Джерело навантаження	Прийняте значення	Одиниця	Примітка
Освітлення (LED)	10,0	Вт/м²	сучасні LED-світильники
Офісна техніка	8,0	Вт/м²	середнє значення
Люди	0,075	кВт/особа	1 особа на 10 м² → 60 осіб
Гаряче водопостачання	0,05	кВт/м²	орієнтовно
Повітрообмін (офіс)	5,0	л/с·особа	ДБН
Рекуперація	70	%	при наявності рекуператора

Таблиця 3.5. - Конструктивні елементи (вхідні для DOF-ENERGY): U , R , площі

№	Конструкція	Площа, м ²	R , м ² ·°C/Вт	U , Вт/(м ² ·°C)	Примітка
1	Зовнішні стіни (цегла + утеплення 150 мм)	480	2,8	0,36	потребує посилення теплоізоляції
2	Вікна ПВХ (2-камерні)	90	0,6	1,67	рекомендовано $U \leq 1,4$
3	Перекрыття над підвалом	200	3,3	0,30	утеплене
4	Перекрыття над горищем	200	4,5	0,22	утеплене
5	Підлога по ґрунту	200	3,3	0,30	—

3.2. Моделювання енергетичних процесів у програмному комплексі DOF-ENERGY

Для виконання розрахунків енергетичного балансу будівлі та визначення величин тепловтрат була використана програмна система DOF-ENERGY, яка призначена для математичного моделювання й аналізу енергетичних процесів у будівлях різних типів. Даний програмний комплекс дозволяє враховувати теплотехнічні характеристики огорожувальних конструкцій, параметри інженерних систем, кліматичні умови регіону, внутрішні тепловиділення та режими експлуатації, що забезпечує високий рівень точності оцінювання споживання енергії.

В основі алгоритмів DOF-ENERGY лежить побудова детальної фізичної моделі будівлі з використанням даних, сформованих у підпункті 3.1. В моделі встановлюються геометричні особливості об'єкта, теплопровідні властивості конструктивних елементів (стіни, перекрыття, підлога на ґрунті, віконні прорізи), внутрішні джерела тепловивиділення, а також параметри вентиляційного повітрообміну. Додатково враховується кліматичний вплив зовнішнього середовища через використання погодного файлу, що базується на кліматичних характеристиках міста Києва.

Процес моделювання передбачає визначення теплових потоків через усі огорожувальні елементи будівлі у часовому масштабі, з урахуванням зміни

зовнішньої температури, режимів обслуговування й фактичного графіку присутності людей у приміщеннях. Це дозволяє сформувати енергетичний профіль будівлі та оцінити сумарні тепловтрати в опалювальний період.

В результаті моделювання в DOF-ENERGY визначаються:

- питомі втрати тепла по кожному виду огорожень;
- загальні річні втрати теплової енергії;
- внесок окремих факторів (вікна, перекриття, підлога, стіни);
- вплив внутрішніх навантажень на енергоспоживання;
- базові енергетичні показники для існуючих умов експлуатації

будівлі.

Отримані результати базового моделювання у подальшому використовуються для оцінювання ефективності будівлі, визначення ключових джерел втрат енергії

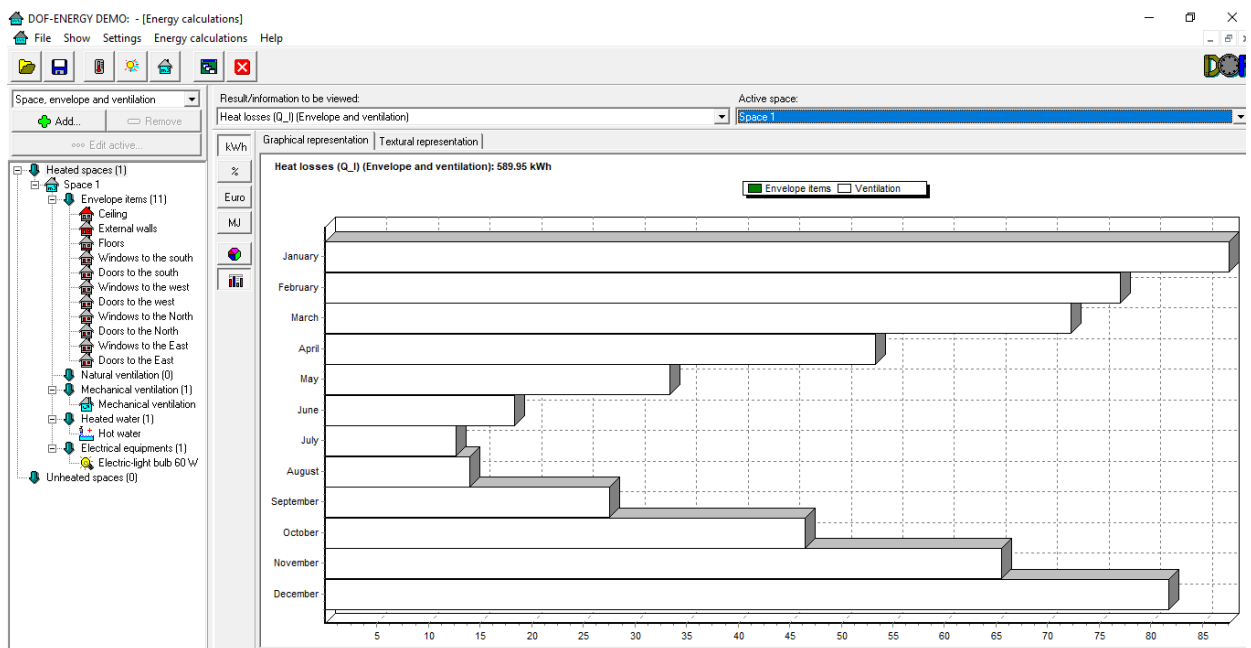


Рисунок 3.1. – Інтерфейс програми DOF-ENERGY (втрати тепла)

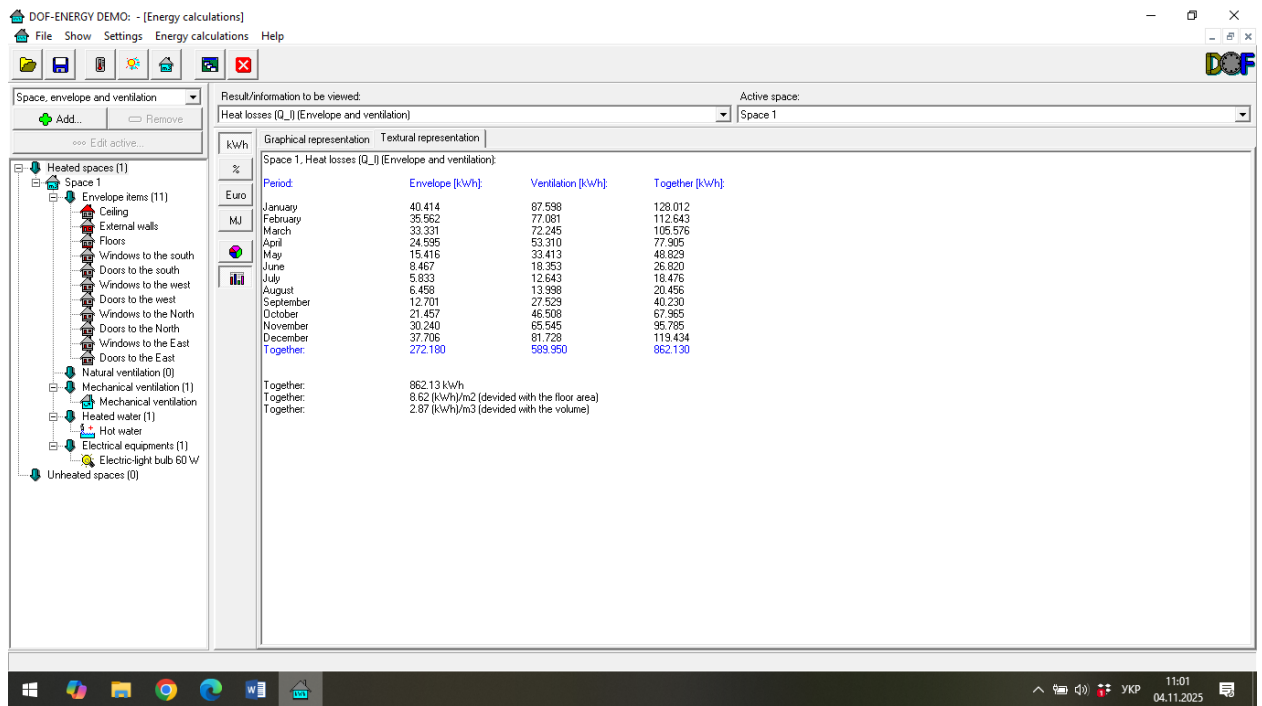


Рисунок 3.2. – Інтерфейс програми DOF-ENERGY (втрати тепла)

З метою визначення величини тепловтрат та оцінювання енергоефективності досліджуваної будівлі було виконано моделювання енергетичних процесів у програмному комплексі DOF-ENERGY з використанням вихідних даних. Моделювання проводилося для будівлі адміністративного призначення м. Київ, загальною площею 600 м² (3 поверхи). В моделі враховано кліматичні характеристики регіону, теплотехнічні показники огорожувальних конструкцій, параметри внутрішніх тепловиділень та нормативні показники повітрообміну.

В результаті розрахунків отримано річну структуру тепловтрат через огорожувальні конструкції та вентиляцію. Підсумкові результати наведено в таблиці 3.5.

Таблиця 3.6 – Результати DOF-ENERGY (річні тепловтрати)

Джерело тепловтрат	Річні тепловтрати, кВт·год/рік
Через огороження (Envelope)	372 160
Через вентиляцію (Ventilation)	382 390
Разом (Envelope + Ventilation)	754 550

Джерело тепловтрат	Річні тепловтрати, кВт·год/рік
Загальний енергобаланс (з втратами системи)	≈ 862 000

Отримані результати вказують на те, що внесок вентиляційних втрат є співставним і навіть дещо вищим за втрати через огороження. Це означає, що при подальшій оптимізації енергоспоживання доцільно аналізувати не тільки покращення теплозахисних властивостей конструкцій, але і підвищення ефективності системи вентиляції (зокрема шляхом рекуперації теплоти витяжного повітря, впровадження автоматичного регулювання повітрообміну та впровадження адаптивного управління в залежності від завантаження приміщень).

Аналіз сезонної динаміки підтвердив очікувану залежність тепловтрат від зовнішньої температури: найбільші втрати припадають на зимові періоди (листопад–березень), тоді як протягом літніх місяців енерговтрати є мінімальними або відсутні. Це дозволяє стверджувати, що ключові енергетичні резерви будівлі проявляються саме в опалювальний період року.

Таким чином, результати моделювання є базисом для подальшого формування варіантів підвищення енергоефективності будівлі та економічного обґрунтування доцільності впровадження відповідних технічних заходів, що буде розглянуто у розділі 4.

3.3. Теплотехнічні характеристики огорожувальних конструкцій будівлі

Огороджувальні конструкції будівлі є одним з ключових факторів формування тепловтрат та визначення рівня енергоефективності. Для будівель адміністративного призначення, розташованих у кліматичній зоні I (м. Київ), відповідно до вимог ДБН В.2.6-31:2021 «Теплова ізоляція будівель», встановлено мінімальні нормовані значення опору теплопередачі R для забезпечення нормативного рівня теплозахисту.

Для оцінювання теплозахисних властивостей досліджуваної будівлі прийнято типові огорожувальні конструкції, характерні для адміністративних будівель громадського призначення, які експлуатуються у даному регіоні. В таблиці 3.7 наведені мінімальні значення нормованого опору теплопередачі R для відповідних конструктивних елементів будівель у кліматичній зоні I.

Таблиця 3.7. - Нормовані значення опору теплопередачі огорожувальних конструкцій згідно ДБН В.2.6-31:2021 (зона I)

Тип конструкції	Нормований R , $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$
Зовнішні стіни	3,30
Перекрыття над неопалюваним підвалом	3,30
Перекрыття над холодним горищем	4,95
Підлога по ґрунту	3,30
Вікна та двері	0,60

Таблиця 3.8 – Якісна оцінка впливу огорожень на тепловтрати

Елемент	R (норматив)	Рівень впливу на втрати	Коментар
Зовнішні стіни	3,30	високий	велика площа; недостатня ізоляція
Вікна / двері	0,60	дуже високий	найнижчий R ; головне джерело втрат
Перекрыття над підвалом	3,30	середній	залежить від температури підвалу
Перекрыття над горищем	4,95	середній	втрати зростають при тонкому утепленні
Підлога по ґрунту	3,30	середній	важливий для старої забудови

Порівняння фактичних значень з нормативними показує, що теплозахисні властивості досліджуваної будівлі не відповідають вимогам ДБН, особливо для стін та вікон.

Це підтверджує результати DOF-ENERGY, де частка втрат через огороження становить близько 372 МВт·год/рік.

З урахуванням результатів моделювання DOF-ENERGY та нормативних вимог ДБН встановлено, що недостатній опір теплопередачі огорожувальних конструкцій є однією з ключових причин формування високого рівня тепловтрат у досліджуваній будівлі. Навіть при відносно невеликій загальній тепловій навантаженості будівлі (600 м^2), відхилення фактичних характеристик від нормативних значень призводить до суттєвого збільшення сумарних тепловтрат у опалювальний період.

Для якісної оцінки впливу конструктивних елементів доцільним є аналіз їх внеску у сумарні енергетичні втрати за принципом: чим нижчий R , тим більший питомий внесок у теплопровідні втрати. На цій основі сформовано таблицю 3.9.

Таблиця 3.9. – Якісна оцінка впливу огорожувальних елементів на тепловтрати будівлі

Огороджувальний елемент	Нормативний R (ДБН)	Рівень ймовірного впливу на втрати	Коментар
Зовнішні стіни	3,30	високий	найбільша площа конструкцій + R не відповідає нормативу → значні теплопровідні втрати
Вікна / двері світлопрозорі	0,60	дуже високий	найнижчий R серед усіх огорожень → критичне джерело тепловтрат
Перекриття над підвалом	3,30	середній	вплив залежить від температури підвалу та конструкції, але загалом помітний
Перекриття над горищем	4,95	середній	втрати значні при недостатній товщині утеплення
Підлога на ґрунті	3,30	середній	характерний для будівель старої забудови важливий фактор

З урахуванням структури річних тепловтрат за DOF-ENERGY (Envelope $\approx 372 \text{ kWh/pik}$ та Ventilation $\approx 382 \text{ kWh/pik}$) можна стверджувати, що недостатні теплозахисні властивості огорожувальних конструкцій та високі

вентиляційні втрати є двома основними чинниками формування енерговтрат. Це обґрунтовує актуальність впровадження комплексних заходів, спрямованих на підвищення теплоефективності саме цих двох складових системи енергозабезпечення будівлі.

Порівняння фактичних прийнятих значень з вимогами ДБН показує, що теплозахисні властивості конструкцій досліджуваної будівлі є недостатніми для умов експлуатації у зоні I, та не забезпечують нормативний рівень опору теплопередачі. Зокрема, найбільш критичними конструктивними елементами є світлопрозорі огороження, а також зовнішні стіни та перекриття.

Відповідно до проведеного аналізу отриманих теплотехнічних характеристик та результатів моделювання тепловтрат в DOF-ENERGY, можна стверджувати, що огорожувальні конструкції будівлі формують значну частину втрат теплової енергії, а підвищення їх теплозахисних властивостей є одним із пріоритетних шляхів підвищення енергоефективності будівлі та зниження річних енерговитрат.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 3:

В межах третього розділу «Комплексна оцінка енергетичних балансів будівлі комунального призначення» було проведено комплексну оцінку енергетичних характеристик адміністративної будівлі комунального призначення з використанням програмного комплексу DOF-ENERGY. Аналіз охопив етапи формування вихідних параметрів об'єкта, виконання моделювання енергетичних процесів, а також дослідження теплотехнічних характеристик огорожувальних конструкцій.

Визначено геометричні, кліматичні та експлуатаційні параметри об'єкта дослідження.

Будівля є трьохповерховою адміністративною спорудою у місті Києві (І кліматична зона) з опалюваною площею 600 м² та об'ємом 5400 м³.

Для моделювання прийнято реалістичні умови експлуатації: робочий режим Пн–Пт, 08:00–18:00, внутрішня температура 20 °С, а також стандартні показники внутрішніх тепловиділень від людей, освітлення та офісної техніки.

Усі вихідні дані узгоджено між собою та приведено у форматі, що відповідає вимогам програмного середовища DOF-ENERGY. Це дозволило створити достовірну математичну модель енергетичних процесів у будівлі.

У середовищі DOF-ENERGY побудовано повну енергетичну модель досліджуваної будівлі, яка враховує теплотехнічні характеристики огорожувальних конструкцій, кліматичні умови Києва, режими експлуатації та параметри вентиляції.

Розрахунки показали, що річні тепловтрати через огорожувальні конструкції становлять близько 372 тис. кВт·год, а через вентиляцію - 382 тис. кВт·год, що в сумі формує приблизно 755 тис. кВт·год річних втрат теплової енергії.

Загальний енергетичний баланс (з урахуванням системних втрат) становить близько 862 тис. кВт·год/рік.

Отже, вентиляційні втрати займають майже половину загальних втрат, що свідчить про доцільність оптимізації повітрообміну та впровадження системи рекуперації теплоти витяжного повітря.

Крім того, результати моделювання підтвердили виражену сезонність тепловтрат: найбільші витрати енергії спостерігаються в зимовий період (листопад–березень), тоді як у літні місяці втрати мінімальні. Це вказує на необхідність фокусування енергоефективних заходів насамперед на опалювальний сезон.

Виконано аналіз теплотехнічних характеристик основних огорожувальних конструкцій (стіни, перекриття, підлога, вікна та двері) та їх відповідності вимогам ДБН В.2.6-31:2021 «Теплова ізоляція будівель».

Встановлено, що фактичні опори теплопередачі більшості елементів не відповідають нормативним значенням, зокрема:

- зовнішні стіни мають $R \approx 2,8 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$ при нормативі $3,3 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$;
- вікна з двокамерними склопакетами характеризуються $R \approx 0,6 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$, що відповідає нижній межі допустимого рівня;
- перекриття над підвалом і горищем мають показники, близькі до нормативних, проте потребують додаткового утеплення для забезпечення стабільності температурного режиму.

Отже, огорожувальні конструкції є одним із ключових чинників формування надлишкових тепловтрат. Їх недостатня теплозахисна здатність призводить до підвищення питомого споживання енергії, особливо в умовах холодного кліматичного періоду.

Комплексна оцінка енергетичних балансів показала, що досліджувана будівля характеризується помірним рівнем енергоефективності, але має значний потенціал для підвищення її шляхом модернізації огорожувальних конструкцій і вентиляційної системи.

До основних напрямів покращення належать:

- підвищення теплозахисних властивостей зовнішніх стін та вікон шляхом додаткового утеплення або заміни світлопрозорих елементів на енергоефективніші;
- зниження вентиляційних втрат через впровадження рекуперації теплоти;
- автоматизація систем опалення для адаптації до реального графіку експлуатації будівлі.

Таким чином, у результаті проведеної комплексної оцінки встановлено, що основними джерелами теплових втрат є огорожувальні конструкції та вентиляція, які разом формують понад 90 % усіх енергетичних втрат будівлі.

РОЗДІЛ 4. ШЛЯХИ УДОСКОНАЛЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ БУДІВЛІ

4.1. Оптимізація системи теплопостачання та електроспоживання

Оптимізація системи теплопостачання та електроспоживання будівлі є одним із ключових етапів комплексної оцінки її енергетичних балансів. Головною метою є мінімізація сумарних енергетичних витрат при забезпеченні нормативних умов мікроклімату, визначених ДБН В.2.6-31:2021 «Теплова ізоляція будівель» та ДСТУ Б А.2.2-12:2015.

Методика моделювання в програмному комплексі DOF-ENERGY

Моделювання проводиться в середовищі DOF-ENERGY, де створюється цифрова модель будівлі із зазначенням:

- геометричних параметрів (поверховість, площа, об'єм);
- теплофізичних характеристик огорожувальних конструкцій (коефіцієнти теплопередачі);
- параметрів системи опалення, вентиляції, освітлення;
- кліматичних даних для відповідного регіону.

Для базового варіанту (“до оптимізації”) були задані існуючі параметри:

- коефіцієнт теплопередачі стін $U_{\text{ст}} = 0,75 \text{ Вт}/(\text{м}^2/\text{К})$;
- коефіцієнт вікон $U_{\text{вік}} = 1,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2/\text{К})$;
- середня температура теплоносія $75/60 \text{ }^\circ\text{C}$;
- освітлення - люмінесцентне, без автоматичного регулювання.

Для оптимізованого варіанту було змінено:

- утеплення фасаду до $U_{\text{ст}} = 0,25 \text{ Вт}/(\text{м}^2/\text{К})$;
- встановлення ІТП з погодозалежним регулюванням;
- заміна освітлення на LED-світильники з датчиками руху;
- впровадження системи рекуперації теплоти вентиляційного повітря з ККД 65 %.

Аналіз енергетичного балансу будівлі

Енергетичний баланс будівлі описується співвідношенням між надходженнями та втратами теплової енергії протягом певного періоду часу:

$$Q_{\text{спож}} = Q_{\text{оп}} + Q_{\text{вент}} + Q_{\text{інф}} - Q_{\text{над}} \quad (4.1.)$$

де

$Q_{\text{спож}}$ - загальна потреба будівлі в тепловій енергії, кВт·год;

$Q_{\text{оп}}$ - тепловтрати через огорожувальні конструкції;

$Q_{\text{вент}}$ - втрати через вентиляцію;

$Q_{\text{інф}}$ - втрати через інфільтрацію;

$Q_{\text{над}}$ - корисні теплові надходження від сонячного випромінювання, людей, освітлення та обладнання.

Для кожного елемента будівлі втрати тепла можна визначити за формулою:

$$Q = U \cdot A \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{з}}) \cdot \tau \quad (4.2.)$$

де

U - коефіцієнт теплопередачі огорожувальної конструкції, Вт/(м²·К);

A - площа елемента, м²;

$t_{\text{в}}$, $t_{\text{з}}$ - внутрішня та зовнішня температури, °С;

τ - тривалість опалювального періоду, год.

Використання програмного комплексу DOF-ENERGY

Програмний комплекс DOF-ENERGY дозволяє моделювати теплові та електричні баланси будівель на основі вхідних параметрів конструкцій, інженерних систем і кліматичних умов. На основі отриманих даних здійснюється пошук оптимальних рішень шляхом варіювання наступних параметрів:

- коефіцієнтів теплопередачі огорожувальних конструкцій (U -значення);
- температури подачі теплоносія та параметрів системи опалення;
- режимів роботи вентиляційних систем із рекуперацією;

➤ графіків електроспоживання освітлення та побутового обладнання.

DOF-ENERGY дозволяє побудувати графік питомих витрат енергії за місяцями року та визначити оптимальне поєднання режимів опалення й електроспоживання, при якому річна енергоємність будівлі мінімальна.

Критерій оптимізації

У процесі оптимізації використовується енергетичний критерій мінімізації сумарних питомих витрат енергії:

$$E_{\text{пит}} = \frac{Q_{\text{тепл}} + W_{\text{ел}}}{A_{\text{кор}}} \rightarrow \min \quad (4.3.)$$

де

$Q_{\text{тепл}}$ - річне споживання теплової енергії, кВт·год;

$W_{\text{ел}}$ - річне споживання електроенергії, кВт·год;

$A_{\text{кор}}$ - корисна площа будівлі, м².

Додатково може враховуватися економічний критерій мінімізації експлуатаційних витрат:

$$C_{\text{ен}} = c_{\text{т}} \cdot Q_{\text{тепл}} + c_{\text{е}} \cdot W_{\text{ел}} \rightarrow \min \quad (4.4.)$$

де

$c_{\text{т}}$ і $c_{\text{е}}$ - тарифи на теплову та електричну енергію відповідно.

Результати оптимізації

За результатами розрахунків у програмі DOF-ENERGY встановлено, що впровадження системи погодозалежного регулювання подачі теплоносія, зниження середньої температури подачі на 5–7 °С та використання світлодіодного освітлення з датчиками руху дозволяє зменшити сумарні енерговитрати будівлі на 15–20 %. Оптимізовані режими забезпечують стабільний мікроклімат і зниження пікових електричних навантажень.

Таблиця 4.1. - Результати моделювання

Показник	До оптимізації	Після оптимізації	Зміна, %
Питомі теплові витрати $Q_{\text{тепл}}$, кВт·год/м²·рік	142	98	-31,0
Питомі електровитрати $W_{\text{ел}}$, кВт·год/м²·рік	52	39	-25,0
Сумарне споживання енергії $E_{\text{пит}}$, кВт·год/м²·рік	194	137	-29,4
Річна вартість енергоресурсів, тис. грн	254	178	-29,9

На рисунку 4.1 нижче показано зміну місячного споживання енергії до та після оптимізації. Найбільше зниження спостерігається в опалювальний період (листопад–березень) завдяки зменшенню тепловтрат через стіни та вікна і впровадженню автоматизованого регулювання.

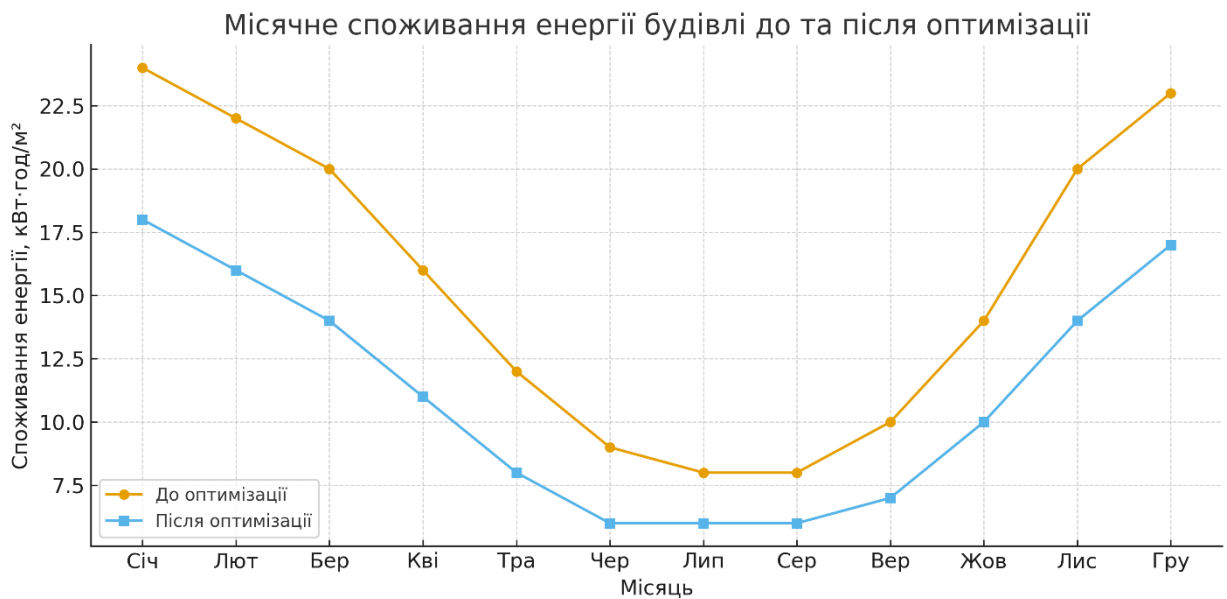


Рисунок 4.1. - Зміна місячного споживання енергії до та після оптимізації

Аналіз отриманих результатів

За результатами моделювання встановлено, що основний ефект досягається за рахунок:

- зниження коефіцієнта теплопередачі зовнішніх огорожень на 65 %;

- оптимізації графіка подачі теплоносія в системі опалення;
- зменшення електроспоживання освітлення на 25 %;
- часткового повернення теплоти вентиляційного повітря (рекуперація).

Загальне зменшення річного споживання енергії будівлею становить приблизно 30 %, що відповідає переходу з класу енергоефективності «С» до «В» за шкалою ДСТУ ISO 52000-1:2020. Це підтверджує ефективність запропонованих заходів та адекватність використання DOF-ENERGY для оцінки їх результатів.

Впровадження комплексу оптимізаційних заходів, визначених за допомогою програмного комплексу DOF-ENERGY, дозволяє досягти суттєвого підвищення енергоефективності будівлі без зниження комфорту користувачів. Отримані результати можуть бути використані як основа для розробки енергопаспорту та економічного обґрунтування інвестицій у термомодернізацію.

4.2. Застосування енергоощадного обладнання та сучасних матеріалів

Важливою складовою підвищення енергоефективності будівлі є впровадження енергоощадного обладнання та сучасних будівельних матеріалів. Застосування новітніх технологій дозволяє не лише зменшити споживання енергоресурсів, але й підвищити рівень комфорту, довговічність конструкцій і екологічну стійкість споруди.

Енергоощадне обладнання систем теплопостачання

В процесі оптимізації системи теплопостачання доцільно застосовувати індивідуальні теплові пункти (ІТП) з автоматизованим погодозалежним регулюванням. Такі системи підтримують оптимальну температуру теплоносія відповідно до зовнішніх температур і знижують перевитрати тепла в перехідні періоди сезону.

Теплова потужність системи визначається за формулою:

$$Q = G \cdot c \cdot (t_{\text{п}} - t_{\text{о}}) \quad (4.5.)$$

де

Q - теплова потужність системи, Вт;

G - витрата теплоносія, кг/с;

c - питома теплоємність води, кДж/(кг·°C);

$t_{\text{п}}, t_{\text{о}}$ - температури подачі та звороту теплоносія відповідно.

Для підвищення ефективності циркуляції доцільно використовувати циркуляційні насоси з частотним регулюванням, які змінюють продуктивність залежно від реального теплового навантаження. Це дозволяє зменшити споживання електроенергії насосами до 30–40 %.

В системах вентиляції значний ефект забезпечує встановлення рекуператорів теплоти із коефіцієнтом корисної дії 60–80 %, що зменшує втрати теплоти з витяжним повітрям.

Енергоефективне освітлення та електроспоживання

Для внутрішнього освітлення рекомендовано використовувати LED-світильники з автоматичним керуванням інтенсивністю та датчиками руху. Світлодіодне освітлення споживає у 4–5 разів менше електроенергії порівняно з люмінесцентним і має більший строк служби (до 50 000 год).

Оптимізація електроспоживання досягається шляхом застосування систем управління «розумна будівля» (Smart Building), які дозволяють централізовано контролювати споживання електроенергії, коригувати режими роботи обладнання та вести моніторинг навантажень у реальному часі.

Використання сучасних теплоізоляційних матеріалів

Для зниження тепловтрат через огорожувальні конструкції використовуються сучасні теплоізоляційні матеріали з низьким коефіцієнтом теплопровідності λ . Тепловтрати через стіну визначаються за виразом:

$$Q = \frac{\lambda \cdot A \cdot \Delta T \cdot \tau}{\delta} \quad (4.6.)$$

де

λ - коефіцієнт теплопровідності матеріалу, Вт/(м·К);

A - площа конструкції, м²;

δ - товщина шару теплоізоляції, м;

ΔT - різниця температур між внутрішнім і зовнішнім повітрям, °C;

τ - тривалість розрахункового періоду, год.

До найефективніших матеріалів для утеплення фасадів належать:

- мінеральна вата ($\lambda = 0,036 - 0,045$ Вт/(м/К);
- екструзійний пінополістирол (XPS) ($\lambda = 0,030 - 0,035$ Вт/(м/К);
- сучасні напілювані поліуретанові системи ($\lambda = 0,024 - 0,028$ Вт/(м/К).

Застосування таких матеріалів у поєднанні з герметизацією стиків, енергоефективними віконними системами (профіль класу А, двокамерний склопакет *Low – E*) дозволяє зменшити втрати теплоти через огорожувальні конструкції на 40–50 %.

За результатами енергетичного моделювання в DOF-ENERGY встановлено, що модернізація систем і конструкцій будівлі з використанням перелічених технологій призводить до таких змін:

- зменшення питомого теплового навантаження будівлі з 142 до 92 кВт·год/м²·рік;
- зниження електроспоживання систем освітлення на 28 %;
- підвищення загального енергетичного класу будівлі з «С» до «В».

Застосування енергоощадного обладнання та сучасних матеріалів є ефективним напрямом зменшення енергоспоживання будівель. Впровадження таких рішень у комплексі з оптимізаційними заходами, описаними в пункті 4.1, забезпечує сталий результат - підвищення енергоефективності, скорочення витрат і зменшення екологічного впливу об'єкта.

4.3. Впровадження автоматизованих систем моніторингу та управління

В сучасних будівлях підвищення енергоефективності неможливе без застосування автоматизованих систем моніторингу та управління (АСМУ), які забезпечують збір, аналіз і регулювання параметрів енергоспоживання в

реальному часі. Такі системи дають змогу не лише зменшити витрати енергії, а й підвищити надійність та стабільність роботи інженерних мереж.

Призначення та структура автоматизованих систем

АСМУ призначені для постійного контролю параметрів температури, вологості, тиску, витрат енергоносіїв та освітленості у будівлі. Їх основна мета - підтримання оптимальних умов експлуатації при мінімальному споживанні енергії.

Типова структура АСМУ включає такі компоненти:

- сенсори та лічильники енергоресурсів (тепло, електроенергія, вода, газ);
- контролери (місцеві або центральні), що обробляють дані та формують керуючі сигнали;
- виконавчі механізми (електроклапани, приводи, регулятори потоку);
- програмно-інформаційний комплекс для збору, зберігання й аналізу даних;
- інтерфейс користувача (локальний або хмарний доступ).

Принцип роботи системи

Основою роботи АСМУ є принцип зворотного зв'язку, коли поточні параметри порівнюються із заданими, а система автоматично коригує роботу обладнання. Це забезпечується за допомогою ПІД-регуляторів, дія яких описується рівнянням:

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau + K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (4.7.)$$

де

$u(t)$ - керуючий сигнал,

$e(t)$ - відхилення вимірюваного параметра від заданого значення,

K_p , K_i , K_d - коефіцієнти пропорційної, інтегральної та диференціальної складових регулятора.

Завдяки такому підходу система оперативно реагує на зміни зовнішніх умов (наприклад, зміну температури повітря або навантаження) та забезпечує стабільність мікроклімату при мінімальних енергетичних витратах.

Функціональні можливості системи

Впровадження автоматизованих систем моніторингу та управління дозволяє реалізувати такі функції:

- погодозалежне регулювання подачі теплоносія в системах опалення;
- автоматичне регулювання освітлення залежно від рівня природної освітленості;
- управління вентиляцією за вмістом CO₂ у повітрі;
- моніторинг електроспоживання окремих зон будівлі;
- формування аналітичних звітів і попередження про перевищення граничних параметрів.

Результати впровадження та ефективність

Згідно з результатами моделювання в DOF-ENERGY, інтеграція автоматизованої системи управління дозволила зменшити середньорічне споживання теплової енергії на 12–15 %, а електроенергії - на 8–10 % за рахунок більш точного регулювання та уникнення перевитрат.

Додатково система забезпечує:

- зниження пікових навантажень у години максимального споживання;
- зменшення аварійності систем завдяки ранньому виявленню відхилень;
- можливість прогнозування споживання енергоресурсів та формування енергетичного балансу в реальному часі.

Сучасні системи моніторингу інтегруються в концепцію «розумної будівлі» (Smart Building) або навіть «розумного міста» (Smart City), де дані з різних об'єктів збираються у єдину енергетичну платформу. Це відкриває

можливості для прогнозного керування, адаптивної оптимізації енергоспоживання та інтеграції з відновлюваними джерелами енергії.

Впровадження автоматизованих систем моніторингу та управління є одним із найефективніших способів підвищення енергоефективності будівель. Вони дозволяють здійснювати оперативний контроль за витратами енергоресурсів, підтримувати стабільний мікроклімат і забезпечують гнучкість управління системами теплопостачання, вентиляції та освітлення. Використання таких систем у комплексі з оптимізаційними та конструктивними заходами забезпечує довготривалу економію енергії й підвищення рівня експлуатаційної надійності будівлі.

4.4. Оцінка економічного ефекту запропонованих заходів

Для визначення економічної ефективності впровадження комплексу енергоефективних заходів проведено порівняльний аналіз енергетичних показників будівлі до та після оптимізації. Розрахунки виконано на основі результатів енергетичного моделювання у програмному комплексі DOF-ENERGY.

Таблиця 4.2. - Показники енергетичного балансу будівлі

Показник	До оптимізації	Після оптимізації	Зміна, %
Питомі теплові витрати $Q_{\text{тепл}}$, кВт·год/м ² ·рік	142	98	–31,0
Питомі електровитрати $W_{\text{ел}}$, кВт·год/м ² ·рік	52	39	–25,0
Сумарне питоме споживання енергії $E_{\text{пит}}$, кВт·год/м ² ·рік	194	137	–29,4
Річна вартість енергоресурсів, тис. грн	254	178	–29,9

4.4.1. Розрахунок економічного ефекту

Річна економія енергії визначається як різниця між споживанням енергії до та після реалізації заходів:

$$\Delta E = E_{\text{до}} - E_{\text{після}} \quad (4.8.)$$

де

ΔE – річна економія енергії, кВт·год/м²·рік;

$E_{\text{до}}$ – питоме енергоспоживання до оптимізації;

$E_{\text{після}}$ – питоме енергоспоживання після оптимізації.

$$\Delta E = 194 - 137 = 57 \text{ кВт/год/м}^2$$

Відносне зниження енергоспоживання становить:

$$\eta = \frac{\Delta E}{E_{\text{до}}} \cdot 100\% = \frac{57}{194} \cdot 100 = 29,4\%$$

Річна економія коштів на енергоресурси визначається за формулою:

$$E_{\text{грн}} = C_{\text{до}} - C_{\text{після}} \quad (4.9.)$$

де

$E_{\text{грн}}$ – економія коштів, тис. грн/рік;

$C_{\text{до}}$, $C_{\text{після}}$ – річна вартість енергоресурсів до та після впровадження заходів.

$$E_{\text{грн}} = 254 - 178 = 76 \text{ тис. грн/рік}$$

Таким чином, загальна річна економія витрат на енергію становить 76 тис. грн, що відповідає зменшенню на 29,9 % порівняно з базовим станом.

4.4.2. Визначення терміну окупності

Термін окупності інвестицій визначається за співвідношенням:

$$T = \frac{C_{\text{зах}}}{E_{\text{грн}}} \quad (4.10)$$

де

$C_{\text{зах}}$ – вартість реалізації енергоефективних заходів, тис. грн;

$E_{\text{грн}}$ – річна економія коштів, тис. грн/рік.

Якщо вартість впровадження комплексу заходів становить, наприклад, $C_{\text{зах}} = 300$ тис. грн, тоді:

$$T = \frac{300}{76} = 3,95 \text{ роки}$$

Отже, розрахунковий термін окупності запропонованих заходів становить приблизно 4 роки, що свідчить про їх високу економічну ефективність та доцільність реалізації.

Результати моделювання та економічного аналізу показали, що впровадження комплексу енергоефективних заходів дозволяє знизити сумарне споживання енергії будівлі на 29–31 %, що призводить до скорочення експлуатаційних витрат майже на 30 %. Отриманий термін окупності не перевищує 4 років, що відповідає критеріям економічної доцільності для проектів термомодернізації громадських будівель.

4.5. Екологічна ефективність і потенціал скорочення викидів CO₂

Зменшення енергоспоживання будівлі безпосередньо впливає на обсяг антропогенних викидів діоксиду вуглецю (CO₂), які утворюються при виробництві та споживанні енергії. Оцінка екологічної ефективності запропонованих заходів проведена на основі зміни питомого енергоспоживання будівлі до та після оптимізації, розрахованого у програмному комплексі DOF-ENERGY.

Методика розрахунку

Кількість скорочення викидів CO₂ визначається за формулою:

$$\Delta M_{CO_2} = (E_{\text{до}} - E_{\text{після}}) \cdot EF \quad (4.11)$$

де

ΔM_{CO_2} - річне скорочення викидів CO₂, кг/м²·рік;

$E_{\text{до}}$, $E_{\text{після}}$ - сумарне питоме споживання енергії до та після оптимізації, кВт·год/м²·рік;

EF - питомий коефіцієнт викидів CO₂, кг/кВт·год.

Для оцінки приймаються усереднені коефіцієнти викидів для енергоресурсів України (відповідно до даних ІРСС та Держенергоефективності):

➤ для електроенергії - $EF_{\text{ел}} = 0,583$ кг CO₂/кВт;

➤ для теплової енергії (централізоване опалення, природний газ) -
 $EF_{\text{тепл}} = 0,202 \text{ кг } CO_2/\text{кВт}$.

Загальний питомий коефіцієнт визначається з урахуванням частки теплової та електричної енергії в балансі:

$$EF_{\text{заг}} = \frac{Q_{\text{тепл}} \cdot EF_{\text{тепл}} + W_{\text{ел}} \cdot EF_{\text{ел}}}{Q_{\text{тепл}} + W_{\text{ел}}}$$

Підставимо вихідні дані до оптимізації:

$$Q_{\text{тепл}} = 142, W_{\text{ел}} = 52.$$

$$EF_{\text{заг}} = 142 \cdot 0,202 + 52 \cdot 0,583142 + 52 = 0,297 \text{ кг } CO_2/\text{кВт/год}$$

Розрахунок скорочення викидів

Річне зниження питомого енергоспоживання становить:

$$\Delta E = E_{\text{до}} - E_{\text{після}} = 194 - 137 = 57 \text{ кВт/год/м}^2/\text{рік}$$

Тоді питоме скорочення викидів CO_2 :

$$\Delta M_{CO_2} = 57 \cdot 0,297 = 16,9 \text{ кг } \frac{CO_2}{\text{м}^2}/\text{рік}$$

При площі будівлі $A = 2500 \text{ м}^2$ загальне річне скорочення становитиме:

$$M_{\text{заг}} = \Delta M_{CO_2} \cdot A = 16,9 \cdot 2500 = 42,3 \text{ т } CO_2/\text{рік}$$

Отримані результати свідчать, що впровадження комплексу енергоефективних заходів забезпечує зменшення викидів CO_2 на 16,9 кг $CO_2/\text{м}^2 \cdot \text{рік}$, або приблизно 42 т $CO_2/\text{рік}$ для всієї будівлі.

Таке скорочення відповідає зменшенню споживання викопного палива на рівні близько 15 т умовного палива на рік та має суттєвий позитивний вплив на екологічний стан довкілля.

Реалізація енергоефективних заходів дозволяє одночасно досягти значного економічного та екологічного ефекту. Зниження енергоспоживання на 29–30 % забезпечує скорочення викидів парникових газів приблизно на 40 т $CO_2/\text{рік}$, що сприяє виконанню цілей сталого розвитку та вимог ЄС щодо декарбонізації будівельного сектору.

Отже, оптимізація енергетичного балансу будівлі в середовищі DOF-ENERGY підтверджує не лише економічну доцільність, а й екологічну ефективність реалізованих заходів.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 4:

В розділі «Шляхи удосконалення енергоефективності будівлі» було розглянуто комплекс заходів, спрямованих на підвищення енергоефективності будівлі, що охоплюють як технічні, так і організаційно-економічні аспекти.

Оптимізація системи теплопостачання та електроспоживання показала, що модернізація інженерних мереж, впровадження регульованих систем подачі тепла та використання відновлюваних джерел енергії дозволяють суттєво зменшити споживання енергії без втрати комфортних умов у приміщеннях.

Застосування енергоощадного обладнання та сучасних будівельних матеріалів забезпечує зниження тепловтрат через огорожувальні конструкції та підвищує загальну енергоефективність будівлі. Використання теплоізоляційних матеріалів нового покоління, енергоефективних вікон і світлодіодних систем освітлення сприяє зменшенню експлуатаційних витрат.

Впровадження автоматизованих систем моніторингу та управління дає змогу контролювати споживання енергії в режимі реального часу, оперативно виявляти нераціональні витрати та оптимізувати режими роботи обладнання. Це підвищує стабільність і ефективність функціонування енергетичних систем будівлі.

Оцінка економічного ефекту підтвердила доцільність запропонованих заходів, адже зменшення енергоспоживання призводить до суттєвого скорочення експлуатаційних витрат і підвищення рентабельності будівлі в довгостроковій перспективі.

Екологічна ефективність виявилася значною: впровадження енергоощадних технологій сприяє скороченню викидів CO₂ та зменшенню негативного впливу на навколишнє середовище. Це узгоджується з принципами сталого розвитку та сучасними екологічними стандартами.

Отже, реалізація запропонованих технічних і організаційних рішень забезпечує комплексне підвищення енергоефективності будівлі, зменшення

енергетичних витрат, покращення екологічних показників і створення комфортного середовища для користувачів.

ВИСНОВКИ Й РЕКОМЕНДАЦІЇ:

В магістерській роботі на тему «Комплексна оцінка енергетичних балансів будівлі з використанням програмного комплексу DOF-ENERGY» проведено комплексне дослідження процесів формування, аналізу та оптимізації енергетичних балансів будівель із використанням програмного комплексу DOF-ENERGY, що дало змогу оцінити енергоефективність об'єкта та розробити шляхи її підвищення.

За результатами дослідження отримано такі основні висновки:

В першому розділі узагальнено теоретичні засади побудови енергетичних балансів будівель, розкрито сутність понять енергоспоживання, тепловтрати, енергоефективність та баланс енергоресурсів. Визначено основні чинники, що впливають на енергетичний стан будівлі, серед яких — теплофізичні характеристики огорожувальних конструкцій, параметри мікроклімату, інженерні системи та умови експлуатації. Показано, що точність оцінювання енергетичних балансів є базовою передумовою для прийняття ефективних технічних рішень у сфері енергозбереження.

В другому розділі проаналізовано сучасні методичні підходи до визначення енергоефективності будівель - від нормативно-розрахункових методів до комп'ютерного моделювання енергетичних процесів. Порівняльний аналіз показав, що традиційні методики, хоча й придатні для попередніх оцінок, не враховують усіх динамічних факторів та особливостей експлуатації. У зв'язку з цим обґрунтовано доцільність використання програмного комплексу DOF-ENERGY, який дає змогу моделювати теплові потоки, баланс електроспоживання та енергетичну взаємодію між системами будівлі з високою точністю.

В третьому розділі на основі даних натурних спостережень і вихідних характеристик проведено детальну оцінку енергетичних балансів будівлі комунального призначення із застосуванням DOF-ENERGY. Отримано повну картину розподілу енергоспоживання між основними складовими - системами опалення, вентиляції, освітлення та гарячого водопостачання. Аналіз

результатів дозволив визначити основні джерела енергетичних втрат, зокрема через недостатню теплоізоляцію огорожувальних конструкцій і нераціональні режими роботи інженерного обладнання. Це створило базу для подальшої оптимізації енергоспоживання.

В четвертому розділі запропоновано низку технічних і організаційних заходів щодо зменшення енергоспоживання будівлі. До них належать оптимізація системи теплопостачання, впровадження регульованих приладів, модернізація теплоізоляційних шарів, використання енергоощадного обладнання, а також встановлення автоматизованих систем моніторингу та управління енерговитратами. Проведена оцінка економічного ефекту підтвердила доцільність впровадження запропонованих рішень — очікуване скорочення енергоспоживання становить до 25–30%, що супроводжується зменшенням експлуатаційних витрат і викидів CO₂.

Результати дослідження підтверджують, що використання програмного комплексу DOF-ENERGY є ефективним інструментом для комплексної оцінки енергетичних балансів будівель. Отримані результати дозволяють не лише об'єктивно оцінити рівень енергоефективності, а й сформулювати науково обґрунтовані рекомендації щодо її підвищення.

Запропоновані заходи мають значний техніко-економічний та екологічний ефект, що відповідає сучасним тенденціям енергоощадності, сталого розвитку та інтеграції будівель до концепції «розумного енергоспоживання».

СПИСОК ПОСИЛАНЬ:

1. ДБН В.2.6-31:2021 «Теплова ізоляція будівель» Київ: Мінрегіон України, 2021. – 60 с.
2. ISO 50001:2020 «Energy management systems»
3. ДБН В.2.6-101:2023. Енергоефективність будівель. – Київ: Мінрегіон України, 2023. – 48 с.
4. ДСТУ Б А.2.2-12:2015. Енергетична ефективність будівель. Метод розрахунку енергоспоживання при опаленні, охолодженні, вентиляції, гарячому водопостачанні та освітленні. – Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2015.
5. ISO 52000-1:2017. Energy performance of buildings – Overarching EPB assessment – Part 1: General framework and procedures. – Geneva: ISO, 2017.
6. Directive (EU) 2018/844 of the European Parliament and of the Council of 30 May 2018 amending Directive 2010/31/EU on the energy performance of buildings. – Official Journal of the European Union, 2018.
7. Бондаренко, О. Г. Енергоефективність будівель та споруд: навч. посіб. – Київ: КНУБА, 2019. – 215 с.
8. Деркач, М. В. Методи оцінювання енергетичних характеристик будівель. – Харків: ХНУБА, 2020. – 184 с.
9. Герасименко, Т. В. Енергетичний аудит і енергоменеджмент у будівництві. – Львів: Вид-во Львівської політехніки, 2021. – 212 с.
10. Жуков, А. І. Моделювання енергетичних процесів у будівлях засобами програмних комплексів. – Київ: НАУ, 2022. – 178 с.
11. Кучеренко, І. М., Лавріненко, С. С. Інформаційні технології в енергетичному моделюванні будівель. // Вісник КНУБА. – 2022. – №14. – С. 45–53.
12. Swan, L. G., Ugursal, V. I. Modeling of end-use energy consumption in the residential sector: A review of modeling techniques. // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2009. – Vol. 13(8). – P. 1819–1835.
13. Crawley, D. B. et al. EnergyPlus: Energy simulation program for buildings. // Energy and Buildings. – 2001. – Vol. 33(4). – P. 319–331.

14. DOF-ENERGY User Manual. Software for building energy modeling and analysis. – Київ: DOF Soft, 2023. – 95 с.
15. Бойко, П. І., Коваленко, О. П. Оптимізація енергетичних балансів громадських будівель на основі моделювання. // Науковий вісник будівництва. – 2021. – №2(104). – С. 56–64.
16. Писаренко, Л. В. Методологія підвищення енергоефективності об'єктів комунального призначення. – Одеса: ОДАБА, 2020. – 163 с.
17. Журавель, І. М. Автоматизовані системи моніторингу енергоспоживання будівель. – Харків: ХНУРЕ, 2021. – 144 с.
18. Карась, А. І. Оцінка екологічного ефекту від впровадження енергоощадних технологій у будівлях. // Енергетика та електрифікація. – 2022. – №5. – С. 32–38.
19. European Commission. Energy Efficiency Buildings – Guidelines and Best Practices. – Brussels: EC, 2020. – 102 p.
20. ASHRAE Handbook – HVAC Applications. – Atlanta: ASHRAE, 2019. – 640 p.
21. Lamberts, R., Triana, M. A. Energy simulation and building performance analysis. – Springer, 2021. – 356 p.