

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет будівництва та транспорту
Кафедра будівництва та експлуатації будівель, доріг та транспортних споруд

До захисту
Допускається
Завідувач кафедри
Будівництва та експлуатації
будівель, доріг та транспортних споруд _____ О. П. Новицький

«__» _____ 2024р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

за другим рівнем вищої освіти

На тему: «Дослідження та впровадження енергоефективних рішень на прикладі загальноосвітньої школи в м. Суми»

Виконав (ла)

_____ (підпис)

Д. О. Забуга

_____ (Прізвище, ініціали)

Група

Буд 2301-1м

(Науковий)
керівник

_____ (підпис)

М. В. Нагорний

_____ (Прізвище, ініціали)

Суми – 2024 р.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра: Будівництва та експлуатації будівель, доріг та транспортних споруд
Спеціальність: 192 "Будівництво та цивільна інженерія"

ЗАВДАННЯ

НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Забуга Денис Олександрович

Тема роботи: Дослідження та впровадження енергоефективних рішень на прикладі загальноосвітньої школи в м. Суми

Затверджено наказом по університету № 3455/ос від " 07 " 10 2024р.
Строк здачі студентом закінченої роботи: " 1 " грудня 2024 р.

Вихідні дані до роботи:

Дані інженерно-геологічних вишукувань, типові проекти, завдання проектування _____

4.Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що підлягають розробці)

Розділ 1. Загальна характеристика роботи, 1.1.Аналіз споживання енергії, 1.2. Особливості впровадження енергоефективних рішень, Розділ 2. Опис

архітектурно-планувального рішення будівлі, 2.1. Ситуаційний план, 2.2. Об'ємно-планувальне рішення, 2.3. Архітектурно-конструктивне рішення, Список використаних джерел

5. Перелік графічного та або мультимедійного матеріалу (з вказівкою обов'язкових креслень)

18 слайдів мультимедійного матеріалу

Керівник :

(підпис)

М. В. Нагорний
(Прізвище, ініціали)

Консультант

(підпис)

М. В. Нагорний
(Прізвище, ініціали)

Завдання прийняв до виконання:

Здобувач

(підпис)

Д. О. Забуга
(Прізвище, ініціали)

Анотація

Забуга Денис Олександрович «Дослідження та впровадження енергоефективних рішень на прикладі загальноосвітньої школи в м. Суми» – Кваліфікаційна робота магістра на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота магістра за спеціальністю 192 «Будівництво та цивільна інженерія». – Сумський національний аграрний університет, Суми, 2024.

Робота складається із змісту, загальної характеристики роботи та її кваліфікаційних ознак, огляду досліджень за обраною темою, розділів основної частини, висновків за результатами МКР (українською та англійською мовами).

Сформульовано мету, задачі, об'єкт та предмет дослідження, методи наукового дослідження.

Актуальність цього дослідження зумовлена необхідністю розробки стратегій сталого оновлення освітніх будівель, що стикаються з проблемами низької енергоефективності, високих витрат на експлуатацію та неоптимальних умов у приміщеннях. Це дослідження спрямоване на розробку комплексної системи, що інтегрує методи цифрового моделювання для вирішення цих питань в контексті змін клімату.

Метою дослідження є розробка методології, яка включає інформаційне моделювання будівель, моделювання експлуатаційних характеристик та енергетичне моделювання для оцінки та оптимізації стратегій реновації освітніх установ. Завдання полягають у зменшенні енергоспоживання, викидів CO₂, покращенні якості навколишнього середовища та визначенні найбільш економічно ефективних і екологічно стійких стратегій реновації.

Наукова новизна дослідження полягає в інтеграції трьох передових методів моделювання в єдину структуру для оптимізації реновації освітніх будівель. Цей підхід дозволяє комплексно оцінити енергоефективність, вплив на довкілля та якість внутрішнього середовища, що сприяє створенню більш стійкого, ефективного та комфортного освітнього простору.

Ключові слова: опалення, утеплення, вентиляція.

Список публікацій та/або виступів на конференціях студента:

1. Нагорний М.В. ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ВПРОВАДЖЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ РІШЕНЬ НА ПРИКЛАДІ ЗАГАЛЬНООСВІТНЬОЇ ШКОЛИ В М. СУМИ / Д. Забуга // Матеріали XVIII Міжнародної науково-практичної конференції , 29 листопада 2024 р., ХНАДУ, Харків, С.41

2. Забуга Д. Дослідження та впровадження енергоефективних рішень на прикладі загальноосвітньої школи в м. Суми / Матеріали 86 Міжнародної наукової конференції студентів, 8-12 квітня 2024 р.,ХНАДУ, Харків, С.38

В додатках наведено тези конференції, альбом слайдів мультимедійної презентації.

Структура роботи.

Робота складається з основного тексту на 44 сторінках, у тому числі 5 таблиць, 7 рисунків. Текст роботи містить загальну характеристику роботи, 2 розділи, висновки і рекомендації за результатами роботи, список з 18 використаних джерел. Графічна частина складається з 18 слайдів мультимедійної презентації.

Abstracts

Zabuga Denys Oleksandrovych “Research and implementation of energy-efficient solutions on the example of a comprehensive school in the city of Sumy” – Master's qualification work in the form of a manuscript.

Master's qualification work in specialty 192 “Construction and civil engineering”. – Sumy National Agrarian University, Sumy, 2024.

The work consists of the content, general characteristics of the work and its qualification features, a review of research on the selected topic, sections of the main part, conclusions based on the results of the MCR (in Ukrainian and English).

The goal, objectives, object and subject of the study, and methods of scientific research are formulated.

The relevance of this study is due to the need to develop strategies for sustainable renovation of educational buildings that face problems of low energy efficiency, high operating costs, and suboptimal conditions in the premises. This study is aimed at developing a comprehensive system that integrates digital modeling methods to address these issues in the context of climate change.

The aim of the research is to develop a methodology that includes building information modeling, performance modeling, and energy modeling to evaluate and optimize renovation strategies for educational institutions. The objectives are to reduce energy consumption, CO₂ emissions, improve environmental quality, and identify the most cost-effective and environmentally sustainable renovation strategies.

The scientific novelty of the research lies in the integration of three advanced modeling methods into a single framework for optimizing the renovation of educational buildings. This approach allows for a comprehensive assessment of energy efficiency, environmental impact, and indoor environment quality, which contributes to the creation of a more sustainable, efficient, and comfortable educational space.

Keywords: heating, insulation, ventilation.

List of publications and/or presentations at student conferences:

1. Nagorny M.V. RESEARCH AND IMPLEMENTATION OF ENERGY EFFICIENT SOLUTIONS ON THE EXAMPLE OF A COMPREHENSIVE SCHOOL IN THE CITY OF SUMY / D. Zabuga // Materials of the XVIII International Scientific and Practical Conference, November 29, 2024, KhNADU, Kharkiv, P.41

2. Zabuga D. Research and implementation of energy efficient solutions on the example of a comprehensive school in the city of Sumy / Materials of the 86th International Scientific Conference of Students, April 8-12, 2024, KhNADU, Kharkiv, P.38

The appendices contain the conference abstracts, an album of multimedia presentation slides.

Structure of the work.

The work consists of the main text on 44 pages, including 5 tables, 7 figures. The text of the work contains a general description of the work, 2 sections, conclusions and recommendations based on the results of the work, a list of 18 sources used. The graphic part consists of 18 slides of a multimedia presentation.

ЗМІСТ

Розділ 1. Загальна характеристика роботи.....	9
1.1. Аналіз споживання енергії.....	11
1.2. Особливості впровадження енергоефективних рішень.....	15
Розділ 2. Опис архітектурно-планувального рішення будівлі.....	33
2.1. Ситуаційний план.....	33
2.2. Об'ємно-планувальне рішення.....	33
2.3. Архітектурно-конструктивне рішення.....	34
Список використаних джерел.....	43

РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми: Актуальність цього дослідження полягає в нагальній потребі розробки стратегій сталого та енергоефективного оновлення освітніх будівель. Ці будівлі часто стикаються з такими проблемами, як низька енергоефективність, високі експлуатаційні витрати та неоптимальна якість навколишнього середовища в приміщенні, що може суттєво вплинути як на експлуатаційну ефективність, так і на комфорт.

У контексті глобальних зусиль, спрямованих на пом'якшення наслідків зміни клімату, покращення енергоефективності освітніх будівель стало пріоритетним завданням. Це дослідження спрямоване на створення комплексної системи, яка інтегрує різні методи цифрового моделювання для вирішення цих питань.

Мета і завдання дослідження: Метою дослідження є розробка методології, яка використовує інформаційне моделювання будівель, моделювання експлуатаційних характеристик будівель та енергетичне моделювання будівель для оцінки та оптимізації стратегій реновації освітніх установ. Основними завданнями є оцінка того, як різні підходи до реновації можуть зменшити споживання енергії, викиди CO₂ та вплив на навколишнє середовище, а також покращити якість навколишнього середовища в приміщенні, включаючи тепловий комфорт, акустику та освітлення. Дослідження також має на меті визначити, які стратегії реновації є найбільш економічно ефективними та екологічно стійкими, беручи до уваги доцільність будівництва та довгострокові наслідки.

Об'єкт дослідження: Дослідження та впровадження енергоефективних рішень.

Предмет дослідження: Загальноосвітня школа в місті Суми.

Методи дослідження: Для досягнення цих цілей у дослідженні використовується поєднання кількісних та якісних методів. По-перше, воно використовує інформаційне моделювання будівель для розробки детального

цифрового представлення будівлі, що включає дані з місця подій та результати опитування після заселення.

Ця модель слугує основою для імітаційного оцінювання енергоефективності різних пакетів реновації за допомогою моделювання експлуатаційних характеристик будівлі. Крім того, моделювання енергоефективності будівель застосовується для оцінки впливу цих стратегій на навколишнє середовище, включаючи скорочення споживання енергії та викидів. Для забезпечення точності дані, отримані на місці, перехресно перевіряються за допомогою інфрачервоного термографічного сканування та обстежень, що дозволяє отримати повне уявлення про експлуатаційні характеристики будівлі.

Наукова та технічна новизна одержаних результатів: Наукова новизна цієї роботи полягає в інноваційній інтеграції трьох передових методів моделювання - інформаційного моделювання будівлі, моделювання експлуатаційних характеристик будівлі та енергетичного моделювання будівлі - в єдину структуру для оптимізації стратегій реновації.

Такий підхід дозволяє комплексно оцінити енергоефективність, вплив на навколишнє середовище та якість повітря в приміщеннях навчальних закладів. Він забезпечує більш обґрунтований процес прийняття рішень, пропонуючи збалансований погляд на короткострокову економію енергії та довгостроковий вплив на довкілля. Таким чином, дослідження сприяє створенню більш стійкого, ефективного та комфортного освітнього середовища.

Апробація та публікація результатів роботи: 1. Нагорний М.В. ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ВПРОВАДЖЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ РІШЕНЬ НА ПРИКЛАДІ ЗАГАЛЬНООСВІТНЬОЇ ШКОЛИ В М. СУМИ / Д. Забуга // Матеріали XVIII Міжнародної науково-практичної конференції , 29 листопада 2024 р., ХНАДУ, Харків, С.41

2. Забуга Д. Дослідження та впровадження енергоефективних рішень на прикладі загальноосвітньої школи в м. Суми / Матеріали 86 Міжнародної наукової конференції студентів, 8-12 квітня 2024 р., ХНАДУ, Харків, С.38

1.1. Аналіз споживання енергії

Це дослідження має на меті визначити стратегії модернізації освітніх закладів для досягнення майже нульового споживання енергії при одночасному зменшенні впливу на навколишнє середовище та оптимізації економічної ефективності. Було розроблено комплексну концепцію модернізації, яка включає такі показники ефективності будівлі, як енергоефективність, екологічна стійкість та задоволеність відвідувачів. Система інтегрує різні цифрові інструменти для підвищення її аналітичної спроможності і була застосована до конкретного прикладу загальноосвітньої школи.

Аналіз виявив профіль енергоефективності та вимоги до модернізації будівлі, при цьому було оцінено вісім пакетів модернізації. Найефективніший пакет дозволив скоротити споживання енергії на 63%, викиди вуглекислого газу - на 85%, а витрати - на 54% з часом, незважаючи на високу початкову вартість. Оптимальний пакет, що балансує між вартістю та ефективністю, посів друге місце в усіх категоріях ефективності при помірних початкових інвестиціях.

У порівнянні з іншими нежитловими будівлями, навчальні заклади мають відмінні характеристики енергоспоживання. Згідно з даними, на опалення припадає 37% загального енергоспоживання таких об'єктів, що значно перевищує 26%, характерні для інших типів будівель. Енергоспоживання на охолодження становить 12%, а на обчислювальну техніку - 10%, причому останній показник значно вищий, ніж у комерційних установах.

Щільність комп'ютерного обладнання в освітніх будівлях зростає на 72% за останнє десятиліття, що майже вдвічі більше, ніж у комерційних приміщеннях. Крім того, навчальні заклади витрачають 8% енергії на

приготування їжі, тоді як у комерційних офісах енерговитрати, пов'язані з приготуванням їжі, є незначними. Ці відмінності пов'язані з унікальним робочим графіком та різноманітними потребами користувачів в освітніх установах.



Рис 1.1. Середньорічна витрата енергоресурсів

Освітні будівлі експлуатуються довше, ніж інші нежитлові об'єкти: у вищих навчальних закладах часто проводяться вечірні заняття та громадські заходи. Ці об'єкти вміщують різні групи користувачів з різною поведінкою, оскільки навчальні аудиторії використовуються спільно для різних академічних рівнів і дисциплін. Крім того, навчальні заклади працюють цілий рік, тоді як школи закриваються на довгі канікули. Ці операційні відмінності вносять значну невизначеність у моделі енергоспоживання, ускладнюючи застосування динамічних графіків для скорочення енергоспоживання. Отже, стратегії реновації зосереджуються на оптимізації статичних елементів, таких як огорожувальні конструкції та механічні системи, на які менше впливає мінлива поведінка користувачів і графіки роботи.

В Україні освітні заклади складають 12% усіх нежитлових будівель. Оскільки вік 76% цих будівель перевищує 20 років, а 38% - 50 років, значна частина з них досягла або перевищила очікуваний термін експлуатації, що

вимагає значної модернізації. Навчальні будівлі в середньому мають площу 2800 квадратних метрів і демонструють енергоефективність 0,4 кіловат-години на квадратний метр на рік, а витрати на комунальні послуги в середньому становлять 100 грн на квадратний метр на рік. Незважаючи на це 70% цих будівель споживають більше енергії, ніж 0,58 кіловат-години на квадратний метр на рік, що значно перевищує ефективність типових офісних будівель. Більшість освітніх будівель перебувають у занедбаному стані і терміново потребують реконструкції для усунення енергоефективності та структурних недоліків.

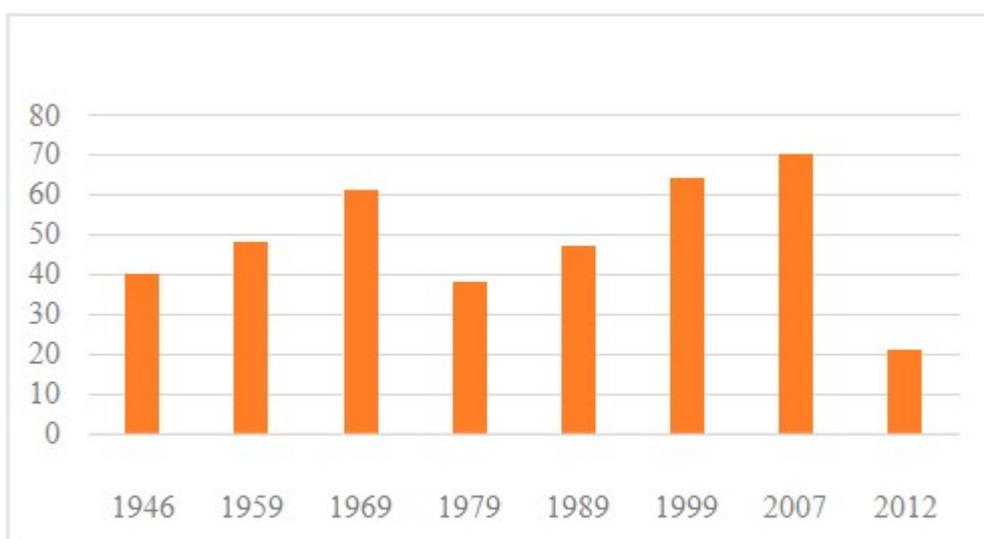


Рис. 1.2. Середній вік навчальних закладів

У цьому розділі розглядаються дослідження, присвячені енергоефективній реконструкції та модернізації навчальних будівель, з акцентом на стратегіях зменшення споживання енергії та впливу на навколишнє середовище. Методи діагностики, що включають вимірювання теплового потоку, інфрачервону термографію, енергетичне моделювання та дослідження на місці, продемонстрували значний потенціал енергозбереження завдяки зменшенню інфільтрації, модернізації вікон та покращенню ізоляції фасадів. Покращення огорожувальних конструкцій у поєднанні з відновлюваними джерелами енергії, такими як фотоелектричні панелі та природна вентиляція, дозволило скоротити споживання енергії на 37,3%.

Дослідження, продені у Швеції, показали, що оптимізація систем опалення, вентиляції та кондиціонування повітря забезпечує більшу економію енергії, ніж модернізація огорожувальних конструкцій. Економічно ефективна модернізація шкільних будівель, що поєднує світлодіодне освітлення та фотоелектричні панелі, ще раз продемонструвала можливість досягнення майже нульового енергоспоживання.

Незважаючи на прогрес у вивченні енергоспоживання в освітніх будівлях, їхні енергетичні характеристики залишаються менш дослідженими порівняно з комерційними або житловими будівлями. Огляд літератури з 1975 по 2024 рік показав, що лише 9% досліджень були присвячені освітнім установам, причому вищим навчальним закладам приділялася обмежена увага. Хоча більшість досліджень були спрямовані на початкові та середні школи, все ще бракує комплексних досліджень.

Подальші дослідження вивчали баланс між енергоефективністю та впливом на навколишнє середовище. Дослідження оцінок життєвого циклу показали, що енергоефективна модернізація та впровадження сталих технологій значно зменшують вплив на довкілля. Однак перші проблеми в моделюванні життєвого циклу обмежували його застосування до детальних оцінок будівель. Останні досягнення у сфері збору даних та моделювання дозволяють проводити комплексні оцінки як нових, так і існуючих будівель, підкреслюючи важливість інтеграції енергоефективності з цілями сталого розвитку для дотримання сучасних екологічних стандартів.

Стрімке впровадження будівництва з нульовим споживанням енергії набуло широкого розголосу: кількість сертифікованих будівель з нульовим споживанням енергії зросла більш ніж на 800% у період з 2010 по 2020 рік. Сертифіковані будівлі з нульовим споживанням енергії демонструють енергетичну нейтральність, яку можна перевірити, щонайменше протягом одного року, тоді як нові проекти мають на меті досягти цієї мети, але не мають даних про ефективність.

Навчальні заклади, включаючи початкові, середні та вищі навчальні заклади, становлять найбільшу частку проектів з нульовим споживанням енергії, на які припадає 30% таких будівель у розвинених країнах. Мотивація такого зростання зумовлена кількома факторами: економічні стимули для енергоефективності, зростання ринкової вартості, пов'язане з сертифікацією сталого розвитку, освітні можливості, які пропонують вискоелективні будівлі, та платформи для обміну найкращими практиками в освітньому секторі.

Незважаючи на те, що вищі навчальні заклади переважають у новому будівництві, наразі у світі існує лише одна підтверджена будівля з нульовим споживанням енергії, і немає жодного задокументованого проекту з модернізації, який би відповідав цьому стандарту. Відсутність перевірених методологій модернізації існуючих будівель підкреслює значну прогалину в досягненні нульового рівня енергоспоживання для старих навчальних закладів.

Окрім енергоефективності, застарілі шкільні будівлі потребують комплексної модернізації для покращення теплового комфорту, акустики, доступу денного світла та якості візуального сприйняття. Ці фактори є критично важливими для створення якісного внутрішнього середовища, що покращує результати навчання. Досвід показує, що усунення недоліків у застарілих навчальних закладах шляхом модернізації покращує успішність учнів. Досягнення як енергетичних цілей, так і задоволеності вимагає ретельної оцінки базових умов та багатовимірної системи оцінювання для ефективного вимірювання впливу стратегій модернізації.

1.2. Особливості впровадження енергоефективних рішень

У 2007 році для дослідження енергоефективності один з найбільших європейських освітніх центрів провів дослідження щодо скорочення викидів вуглецю на 60% до 2020 року і на 70% до 2025 року порівняно з рівнем 2010 року. Між 2010 і 2025 роками, незважаючи на 12% зростання будівництва, викиди вуглецю зменшилися на 28%, а використання енергії в деяких

будівлях скоротилося на 25%. Дослідження продовжує прагнути до 30% скорочення енергоспоживання в існуючих будівлях. Помірний клімат в регіоні проведення дослідження з середньорічною температурою 14°C і вологістю 65% підтримує ці зусилля зі сталого розвитку.

Приблизно 65% будівель мають вік понад 25 років, а 30% - понад 55 років, тобто наближаються до кінця свого експлуатаційного терміну. Реновація цих будівель створює виклики та можливості. Енергоспоживання значно відрізняється, причому інженерні будівлі, особливо ті, в яких розміщені лабораторії, демонструють найвищу інтенсивність. У той час як більшість навчальних корпусів обладнані кондиціонерами для опалення та охолодження, деякі житлові приміщення не мають таких систем.

Будівля покладається на централізовану мережу опалення та охолодження, що живиться від електростанції та доповнюється сателітними центральними господарськими будівлями. Ці системи розподіляють гарячу та охолоджену воду через з'єднані між собою трубопроводи до кількох будівель, в той час як індивідуальні системи кондиціонування регулюють температуру та вологість у кожній будівлі.

Досліджувана споруда має форму прямокутника. До її складу входять навчальні класи, офіси, бібліотека, конференц-зали, комп'ютерні лабораторії та галерея. Реконструкції, проведені протягом багатьох років, модернізували ключові компоненти, включаючи освітлення, холодильні установки, аудиторії і комп'ютерні класи, а також нові приміщення, такі як бібліотека. Орієнтовна вартість повної заміни цієї структури відповідно до сучасних стандартів становить приблизно 36 мільйона гривень.



Рис. 1.3. Досліджувана будівля

Методологія дослідження інтегрує три ключові моделі: Інформаційне моделювання будівлі, Моделювання експлуатаційних характеристик будівлі та Моделювання навколишнього середовища будівлі, що формують цілісну систему для оцінки та покращення дизайну та експлуатаційних характеристик будівлі.

Інформаційне моделювання будівель передбачає створення та управління цифровими представленнями, які детально описують фізичні та функціональні характеристики будівель. Цей процес підтримує прийняття рішень у плануванні, будівництві та управлінні будівлями, полегшуючи обмін та аналіз даних. Він також уможлиблює віртуальне тестування проектних рішень, підвищуючи ефективність і скорочуючи терміни реалізації проектів. Інтеграція інформаційного моделювання будівель з інструментами енергетичного моделювання довела свою ефективність в оцінці та оптимізації енергоефективності будівельних систем.

Моделювання експлуатаційних характеристик будівлі розширює концепцію енергетичного моделювання для імітації загальних характеристик будівлі, включаючи енергоспоживання та вплив на навколишнє середовище.

Процес моделювання використовується для оптимізації будівельних систем, оцінки їхньої ефективності та оцінки впливу на навколишнє середовище протягом усього життєвого циклу будівлі, від будівництва до знесення. Оцінка життєвого циклу застосовується для вимірювання впливу будівель на навколишнє середовище, а для підтримки цих оцінок на етапі проектування доступні різноманітні інструменти.

Для цього дослідження було розроблено віртуальну модель з використанням будівельної документації та вимірювань на місці. Програмне забезпечення Autodesk Revit було обрано завдяки його широким можливостям для моделювання життєвого циклу будівлі та здатності інтегруватися з інструментами аналізу експлуатаційних характеристик будівлі. Потім дані про експлуатаційні характеристики будівлі були передані на хмарну платформу для оцінки енергоефективності та якості денного світла з акцентом на виявленні резервів енергозбереження та порівнянні різних проектних альтернатив. Цей процес дозволяє детально оцінити експлуатаційні характеристики будівлі, пропонуючи більш глибоке розуміння споживання енергії, скорочення викидів вуглецю та економічної ефективності.

Таким чином, цей комплексний підхід пропонує всеосяжний метод оцінки експлуатаційних характеристик будівлі з акцентом на енергоефективність та екологічну стійкість. Поєднуючи передові інструменти моделювання, він дає змогу приймати обґрунтовані рішення та оптимізувати роботу протягом усього періоду проектування та експлуатації будівлі.

Sefaira використовує EnergyPlus як основний засіб моделювання. EnergyPlus - це система енергетичного моделювання цілих будівель з відкритим вихідним кодом, яка інтегрує можливості попередніх інструментів моделювання. Він дозволяє розраховувати баланс теплового навантаження, інтегрує системні розрахунки та дає змогу налаштовувати описи систем опалення, вентиляції та кондиціонування.

Інтерфейс дозволяє моделювати різні потоки енергії в будівлі, включаючи опалення, охолодження, вентиляцію, освітлення, використання води та виробництво відновлюваної енергії, з кроком у часі до години. Вона включає в себе модульні системи та зони встановлення, засновані на підході теплового балансу. Крім того, вона дозволяє моделювати тепловий комфорт і забезпечує гнучкість у налаштуванні графіків роботи та поведінки, що моделюється за допомогою регресійного формату на основі визначених користувачем температурних уподобань і графіків роботи.

У цьому дослідженні в хмарі було побудовано кілька моделей продуктивності будівлі та порівняно їхні результати. Дані з цих моделей були перенесені в модель навколишнього середовища будівлі за допомогою програмного забезпечення Tally. Tally, плагін для Autodesk Revit, дозволяє оцінювати вплив на навколишнє середовище, пов'язаний з проектними рішеннями, протягом усього життєвого циклу. Екологічний аналіз враховує такі фактори, як потенціал глобального потепління, потенціал виснаження озонового шару, утворення смогу, потенціал окислення та евтрофікації. Ця методологія, що об'єднує інформацію про будівлю, енергоефективність та аналіз впливу на навколишнє середовище, була використана для оцінки різних сценаріїв проектування будівель, надаючи уявлення як про енергоефективність, так і про сталість.



Рис. 1.4. Інтерфейс програми

Етап інформаційного моделювання будівлі в цьому дослідженні включає аналіз будівельної документації, натурні вимірювання, інфрачервоне та візуальне обстеження, а також опитування після введення в експлуатацію. Цей етап має три основні цілі: оцінка поточного стану будівлі, визначення сфер для покращення на основі даних різних оцінок і конфігурація цифрової моделі, яка інтегрує ці дані, готуючи їх для подальшого аналізу в моделях продуктивності та навколишнього середовища.

Зовнішній вигляд будівлі виконаний з облицювання зі збірних панелей, які не мають ізоляції або повітряного прошарку. Тепловий опір такої конфігурації є обмеженим і не відповідає чинним будівельним стандартам. Зовнішні тіні загалом у доброму стані, хоча є незначні пошкодження від розчину.

Основа даху, побудована з бетону з шаром ізоляції та композитним покриттям, має термічний опір, який не відповідає сучасним стандартам. Хоча жодні записи не вказують на те, чи замінювався дах, цілком ймовірно, що це було зроблено з моменту спорудження будівлі. Вікна однокамерні,

неізолювані, зі сталевими рамами, що призводить до низької енергоефективності. Високий коефіцієнт тепловіддачі цих вікон суттєво впливає на загальну теплову ефективність будівлі. Двері виготовлені з порожнистих металевих рам, які також не відповідають сучасним стандартам теплоефективності.

Зважаючи на вік будівлі, її зовнішній вигляд потребує значного ремонту та оновлення, щоб відповідати сучасним нормам енергоефективності. Однак за допомогою відповідних заходів з модернізації можна досягти значного скорочення споживання енергії з мінімальними інвестиціями.

Опалювальна система будівлі управляється центральною комунальною службою, яка забезпечує гарячу воду для процесу опалення. Централізована система кондиціонування повітря регулює температуру в приміщенні протягом зимових місяців, розподіляючи гарячу воду. Сім вентиляційних установок розташовані в підвалі і подають прохолодне повітря в 16 різних приміщень будівлі. Середньорічне енергоспоживання будівлі в період з 2015 по 2024 рік становило 150 кВт-год на квадратний метр. Загальне освітлення складається з флуоресцентних ламп, а в комп'ютерній кімнаті встановлено світлодіодне освітлення. У будівлі відсутня спеціальна система вентиляції, тому для оновлення повітря використовується природна циркуляція повітря через відкриті вікна та двері. Проникнення денного світла загалом є достатнім завдяки наявності великих світлових ліхтарів та широких вікон.

Для оцінки теплових характеристик використовували тепловізійну камеру, щоб виявити основні теплові містки, тепловтрати і зони інфільтрації повітря в огорожувальних конструкціях будівлі, включаючи стіни і дах. Інфрачервоне сканування навколо віконних рам виявило потенційні витоки повітря. Зовнішні знімки показали коливання температури до 9°C між різними фасадами будівлі, що свідчить про недостатню ізоляцію. Внутрішнє сканування підтвердило, що втрати тепла відбуваються переважно на стиках між стелею та стінами.

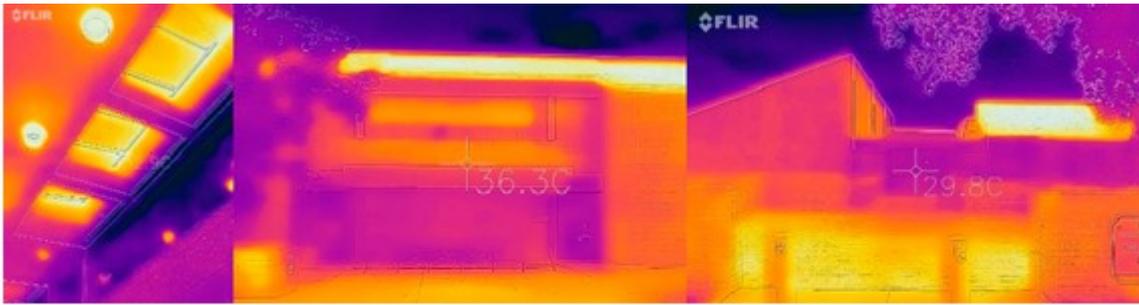


Рис. 1.5. Інфрачервоні зображення внутрішніх та зовнішніх конструкцій

Значною проблемою у здійсненні доступної енергетичної модернізації старих будівель є відсутність обліку, що перешкоджає визначенню ключових сфер, які могли б отримати вигоду від енергетичних покращень. Для вирішення цієї проблеми можна використовувати різні показники, що виходять за рамки енергоспоживання, щоб спрямовувати стратегії модернізації та виокремлювати проблемні сфери. У цьому дослідженні для оцінки експлуатаційних характеристик будівлі було використано поєднання індексів аудиту об'єкта та опитувань щодо задоволеності. Заходи з модернізації були розроблені не лише для зменшення енергоспоживання, але й для врахування уподобань користувачів.

З літа 2023 року дані збиралися з кожної кімнати в будівлі через чотири інтервали часу: 7 липня та 5 вересня 2023 року, а також 24 січня та 5 червня 2024 року. Зафіксовано температуру, вологість, рівень CO₂, звук та освітлення, а також нормалізовано дані для аналізу. Результати визначили тепловий комфорт і рівень шуму (зокрема, конфіденційність голосу) як основні проблемні області на основі аудиту. Для збору даних використовувалися такі прилади, як тестер якості повітря в приміщенні, вимірювач освітленості та цифровий вимірювач рівня шуму.

На додаток до аудиту, з вересня 2023 року по березень 2024 року було проведено опитування, щоб оцінити якість навколишнього середовища в приміщенні та загальну задоволеність. Опитування було розповсюджене серед усіх учнів, в результаті чого було отримано 85 відповідей, що

становить 25%, що відповідає типовим показникам онлайн-опитувань від 15% до 45%.

Опитування, проведене в лютому 2024 року, складалося з 12 запитань, покликаних оцінити досвід учасників перебування в будівлі. З них 10 запитань стосувалися оцінки рівня задоволеності освітленням, шумом, температурою та акустикою за 7-бальною шкалою від дуже незадоволеній до дуже задоволеній. Два питання, які не потребували оцінки, були виключені з аналізу. Зібрані дані були проаналізовані на основі числових відповідей, з особливим акцентом на кількісному рівні задоволеності різними параметрами навколишнього середовища.

Інформаційна модель будівлі для цього дослідження була створена з використанням оригінальних будівельних документів з архітектурної бібліотеки та додаткових записів з архіву управління об'єктом, які містили інформацію про попередні реконструкції. Вимірювання на місці були проведені для перевірки ключових розмірів і уточнення ділянок, які були незрозумілі на архітектурних кресленнях.

За допомогою Autodesk Revit була розроблена віртуальна 3D-модель з ручним введенням властивостей матеріалів, які не були включені в стандартний шаблон Revit. Всі дані про фізичні характеристики та стан будівлі були включені до 3D-моделі. Ця модель згодом була використана для моделювання енергоефективності різних стратегій реновації, що детально описано в наступному розділі.

Аналіз натурних вимірювань, інфрачервоного та візуального обстеження, а також аналіз будівельної документації виявив дві основні проблеми: передача звуку та перегрів. Ці проблеми, а також цілі зі скорочення енергоспоживання, були враховані при оцінці потенційних стратегій реновації.

Враховуючи, що значне споживання енергії вже відбулося на початковому етапі будівництва, основна увага в цьому дослідженні була зосереджена на поточних і майбутніх експлуатаційних енергетичних

характеристиках будівлі. Модель енергоефективності будівлі складалася з трьох етапів: визначення та моделювання методів модернізації огорожувальних конструкцій; визначення та моделювання методів модернізації систем будівлі; і створення пакетів реновації на основі результатів попередніх двох етапів.

Ефективність різних стратегій і пакетів оцінювалася за такими показниками: загальний відсоток скорочення енергоспоживання, відсоток скорочення викидів, пов'язаних з енергоспоживанням, відсоток щорічного скорочення витрат, початкові витрати на будівництво та доцільність будівництва. Основна мета полягала в оцінці запропонованих стратегій реновації з точки зору енергозбереження та економічної ефективності. Моделювання проводилося за допомогою системи Sefaira, а дані про витрати на будівництво та обслуговування були надані управлінням експлуатації будівель.

Для вирішення виявлених проблем передачі звуку і перегріву, дослідження було зосереджено на методах модернізації зовнішнього корпусу і внутрішніх перегородок. Запропоновані заходи з модернізації включали:

1. Заміна існуючих вікон на склопакети з низьким коефіцієнтом опору теплопередачі.
2. Додавання ізоляції до покрівельної покриття.
3. Встановлення додаткової ізоляції на зовнішніх стінах.
4. Посилення тепло- та звукоізоляції внутрішніх стін.
5. Заміна всіх існуючих вікон на склопакети.
6. Зменшення інфільтрації повітря через герметичні вікна.
7. Заміна існуючих ламп освітлення на енергоефективні світлодіодні лампи.
8. Встановлення панелей з фазозмінного матеріалу на внутрішній стороні зовнішніх стін для покращення терморегуляції.

Згідно з наявними даними, жодних значних модернізацій або ремонтів огорожувальних конструкцій будівлі не проводилося. Тому спочатку

основна увага була зосереджена на посиленні ізоляції зовнішніх стін і даху, а також на підвищенні енергоефективності вікон. Дах можна було б модернізувати, додавши панелі з пінополістиролу, що підвищило б рівень ізоляції. Така модернізація призведе до щорічного скорочення споживання енергії приблизно на 26000 кВт-год, що відповідає скороченню викидів CO₂ на 20%. Вартість цієї модернізації, включаючи знесення та ремонт даху, оцінюється в суму 1 000 000 грн, при цьому очікується, що економія компенсує витрати вже в перший рік.

Коефіцієнт опору теплопередачі існуючих зовнішніх стін є мінімальним, а додавання ізоляційних плит до внутрішньої поверхні може підвищити цей показник. Лише ця модифікація дозволить заощадити 290 000 кВт-год енергії та зменшити викиди CO₂ на 25%. Ізоляція також може бути нанесена на внутрішні стіни за допомогою термоштукатурки, яка забезпечує як теплову, так і звукову ізоляцію. Використання термоштукатурки може збільшити коефіцієнт опору теплопередачі ще на 10 одиниць, зменшивши тепловіддачу та забезпечивши значну звукоізоляцію. За оцінками, цей захід дасть 5% економії енергії та 10% скорочення викидів CO₂.

Заміна однокамерних вікон на склопакети з низьким рівнем емісії або склопакети з подвійним склінням ще більше сприятиме економії енергії, з потенційним скороченням викидів CO₂ на 20% і споживання енергії на 10%. У будівлі, побудовані наприкінці 1970-х - на початку 1980-х років, мають коефіцієнт інфільтрації повітря 3×10^{-4} м³/с/м². Це призводить до витоку від 25% до 35% від загального обсягу повітря, що є основним чинником збільшення енергоспоживання. Згідно зі стандартом мінімально необхідна швидкість інфільтрації повітря для офісних приміщень становить 0,07 кубічних метрів на годину на квадратний метр площі фасаду, а зменшення інфільтрації повітря може знизити споживання енергії до 30%.

Ущільнення огорожувальних конструкцій для зменшення інфільтрації повітря є особливо ефективним енергозберігаючим заходом, що дозволяє

заощадити 750 000 грн. Однак для оцінки його впливу на якість повітря в приміщенні необхідні подальші дослідження.

Дві додаткові стратегії енергозбереження включають заміну існуючих освітлювальних приладів на світлодіодні лампи та додавання матеріалів з фазовою зміною до зовнішніх стін. Освітлення становить 10% від загального енергоспоживання, а заміна існуючих світильників на світлодіодні лампи, як очікується, дозволить заощадити 280 000 кВт-год на рік, або скоротити енергоспоживання на 15%. Крім того, вбудовування панелі у поверхню стін покращить теплоізоляцію. Порівняння цих заходів показує, що зменшення інфільтрації повітря та модернізація систем освітлення забезпечують найбільш суттєве скорочення енергоспоживання та викидів CO₂, а утеплення зовнішніх стін є третім найбільш ефективним методом.

Таблиця 1.1. Технології модернізації огорожувальних конструкцій

Техніка	Заг. зниження енергії (%)	Зм. CO ₂ (%)	Економія (%)	Пікове зниження охолодження (%)	Пікове зниження нагріву (%)	Початкова вартість	Тех.-екон. обґрунтування	NPV за 5 років
1	11,11%	19,19%	7,07%	4,04%	5,05%	Високий (€ 1680–2310/м ²)	Високий	Нейтральний
2	13,13%	22,22%	9,09%	7,07%	7,07%	Помірний (€ 25,2–50,4/м ²)	Високий	+
3	12,12%	21,21%	7,07%	4,04%	5,05%	Помірний (€ 25,2–50,4/м ²)	Помірний	Нейтральний
4	13,13%	23,23%	8,08%	5,05%	5,05%	Помірний (€ 25,2–50,4/м ²)	Помірний	Нейтральний
5	11,11%	19,19%	7,07%	4,04%	5,05%	Високий (€ 16 800–63 000/вікно)	Високий	-
6	16,16%	27,27%	10,10%	6,06%	6,06%	Низький (€ 8,4/м ²)	Помірний	+
7	12,12%	16,16%	10,10%	7,07%	7,07%	Помірний (€ 2 940–10 500/засіб)	Високий	+

З точки зору економічної ефективності, найбільш економічно вигідним рішенням є герметизація інфільтрації повітря, за яким слідує заміна освітлювальних приладів. Що стосується зменшення пікових навантажень на опалення та охолодження, то найбільш ефективними стратегіями є покращення ізоляції даху та заміна існуючих ламп розжарювання на світлодіодні. Якщо розглядати початкові витрати на будівництво, то найдоступнішою є герметизація інфільтрації повітря, тоді як встановлення склопакетів потребує найбільших витрат. З точки зору будівельної доцільності, зменшення інфільтрації повітря є найбільш практичним підходом, тоді як встановлення матеріалів з фазовими змінами є менш доцільним через обмежену доступність цих матеріалів.

У таблиці редставлено порівняння різних методів вдосконалення будівлі. Виділені системи зовнішнього повітря забезпечують кращу вентиляцію та контроль вологості порівняно з традиційними системами зі змінним об'ємом повітря, що призводить до покращення якості повітря в приміщенні. Однак системи є більш економічно ефективними і потребують менше обслуговування, оскільки не потребують окремої системи зовнішнього повітря. Серед восьми оцінених варіантів, варіанти 1 і 2 демонструють найвищий потенціал енергозбереження та скорочення викидів при відносно низьких витратах.

На основі висновків, пов'язаних з реконструкцією огорожувальних конструкцій і систем будівлі, було розроблено шість окремих пакетів модернізації. Ці пакети були розроблені на основі таких факторів, як потенціал енергозбереження, потенціал скорочення викидів вуглецю, можливість будівництва та початкова вартість. Крім того, для подальшої оцінки впливу кожного пакету було проведено моделювання енергоспоживання для кінцевого місця розташування.

Таблиця 1.2. Порівняння методів модернізації будівельної системи

Методи модернізації	Заг. зниження енергії (%)	Скорочення викидів CO ₂ (%)	Економія (%)	Початкова вартість
1	53,03%	70,70%	45,45%	низький
2	57,57%	86,86%	44,44%	низький
3	18,18%	44,44%	6,06%	помірний
4	18,18%	44,44%	6,06%	помірний
5	35,35%	97,97%	6,06%	від середнього до високого
6	26,26%	79,79%	1,01%	від середнього до високого
7	5,05%	12,12%	2,02%	від середнього до високого
8	26,26%	49,49%	15,15%	від середнього до високого

На третьому етапі проекту було проаналізовано різні пакети ремонтних робіт для оцінки їхнього впливу на навколишнє середовище. Оцінка життєвого циклу була застосована для кількісної оцінки та аналізу матеріальних та енергетичних потоків у системі. Цей процес пропонує комплексний підхід до вивчення впливу будівлі на навколишнє середовище протягом усього її життєвого циклу, враховуючи складні взаємодії між створеним середовищем і природними системами. Було розглянуто п'ять ключових екологічних показників: Потенціал глобального потепління, потенціал руйнування озонового шару, потенціал підкислення, потенціал евтрофікації та потенціал утворення смогу. Процес оцінки життєвого циклу відповідав встановленим міжнародним стандартам та керувався рекомендаціями визнаних екологічних агентств.

Інструментом екологічного аналізу було інтегроване програмне забезпечення, розроблене для безперешкодної роботи з інформаційними моделями будівель, що дозволяє детально оцінити вплив на навколишнє середовище на основі даних, витягнутих з моделі. Цей інструмент прив'язує

будівельні матеріали та системи до загальноновизнаної екологічної бази даних, що дозволяє провести комплексну оцінку різних стратегій реновації.

Процес оцінки включав створення різних пакетів реконструкції в рамках моделі будівлі, яка містила всі необхідні дані про компоненти будівлі, такі як стіни, вікна, двері, а також системи опалення, вентиляції та кондиціонування. Дані про матеріали та конструкцію були перенесені з моделі в інструмент аналізу для вивчення впливу на навколишнє середовище кожного з пакетів реконструкції.

Вимірювання на місцях виявили кілька ключових проблем. Найбільш значущою проблемою виявилася низька якість акустики, причому рівень шуму в багатьох приміщеннях перевищував рекомендовані норми. Зокрема, у відкритих класах рівень шуму має бути 35 децибел, тоді як у закритих офісах він повинен підтримуватися на рівні 45-50 децибел. Значна частина приміщень перевищувала ці порогові значення. Іншою серйозною проблемою був тепловий комфорт, зокрема, регулювання температури, оскільки в деяких приміщеннях температура виходила за межі допустимого діапазону. Перегрів був постійною проблемою в різні пори року, тоді як рівень вологості загалом був у межах допустимих норм. Розподіл освітлення також був нерівномірним: деякі приміщення були недостатньо освітлені, а інші - надмірно, порівняно з рекомендованими нормами.

Результати опитування показали незадоволення кількома аспектами внутрішнього середовища, зокрема приватністю, тепловим комфортом та видом з вікон. Однак відвідувачі загалом були задоволені чистотою, освітленням, якістю повітря та візуальним комфортом. Примітно, що багато респондентів висловили незадоволення рівнем шуму, доступом до вікон та тепловим комфортом. Ці результати значною мірою підтвердили проблеми, виявлені під час польових вимірювань. Хоча респонденти погодилися з необхідністю покращення якості звуку та температурного контролю, були виявлені розбіжності щодо якості повітря та вигляду з вікон. Незважаючи на те, що вимірювання показали прийнятні умови в цих сферах, багато

респондентів висловили незадоволення, що свідчить про необхідність подальшого дослідження цих питань.

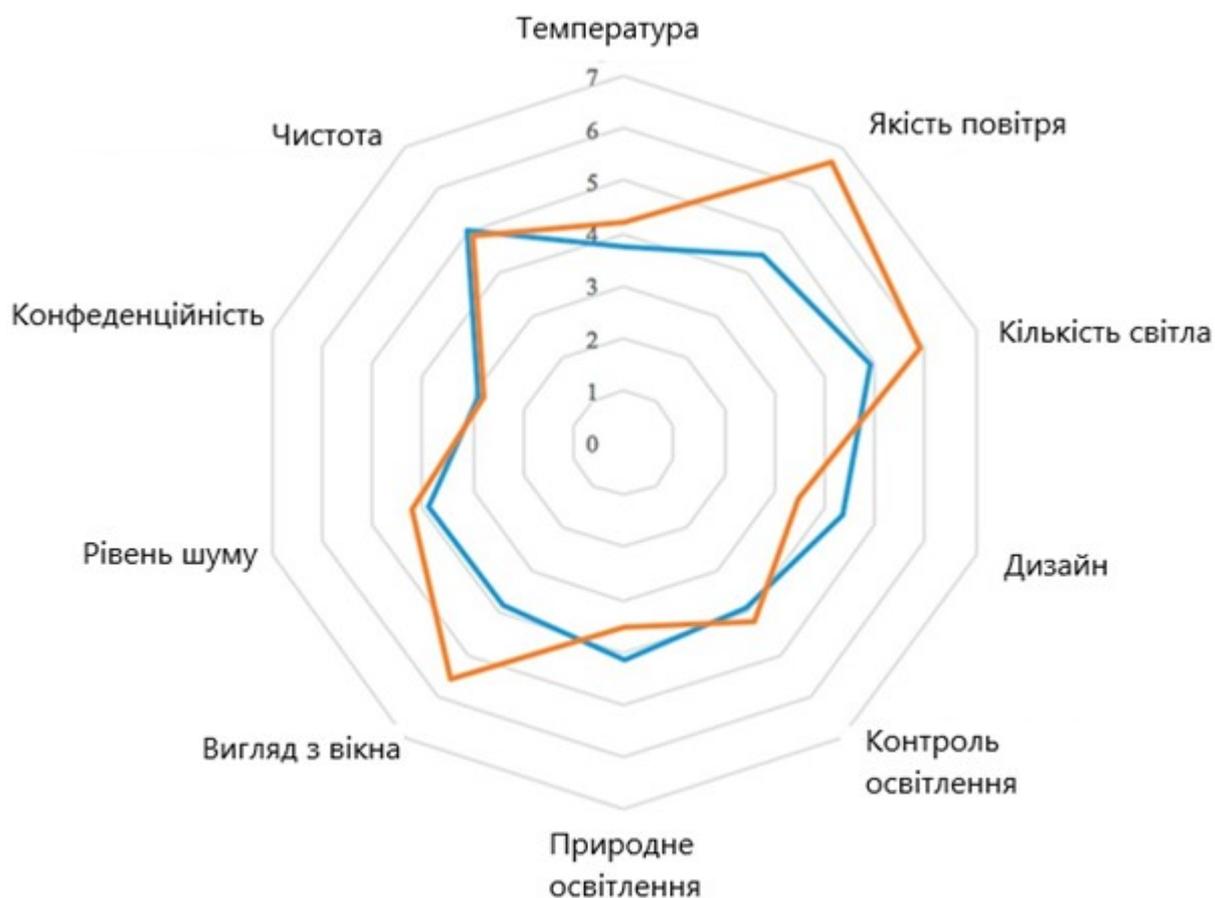


Рис. 1.6. Результати опитування щодо ефективності ремонту будівлі загальноосвітньої школи

Серед восьми стратегій реновації ті, що передбачають значну економію енергії, але вищі початкові витрати на будівництво, позначені як четвертий і п'ятий варіанти. І навпаки, перша та шоста стратегії пропонують більшу економію енергії за менших витрат. Другий і третій варіанти дають результати, подібні до першого і шостого, але з помірними початковими витратами. Нарешті, сьомий і восьмий варіанти забезпечують порівняно меншу економію енергії та витрат.

Що стосується впливу на навколишнє середовище, то третя і п'ята стратегії мають найнижчі екологічні наслідки і найкращі показники за різними індикаторами. Четверта стратегія, однак, має найвищий потенційний вплив на довкілля за всіма категоріями, що свідчить про значну

довгострокову шкоду. Перша стратегія є другою за несприятливістю, демонструючи вищий вплив за всіма екологічними показниками, ніж інші варіанти. Шоста стратегія посідає третє місце за рівнем несприятливого впливу на довкілля, зокрема, за потенціалом виснаження озонового шару та евтрофікації.

Ранжування стратегій реновації на основі їхнього потенціалу для досягнення цілей будівництва будівель з майже нульовим енергоспоживанням при мінімізації впливу на навколишнє середовище, початкових витрат і доцільності будівництва свідчить про те, що третя стратегія є оптимальним вибором. П'ята стратегія пропонує життєздатну альтернативу для тих, хто має більший бюджет. Однак, хоча перша стратегія може забезпечити досягнення цілей енергоефективності з меншими витратами і вищою реалістичністю будівництва, її довгострокові екологічні наслідки викликають значне занепокоєння.

Таблиця 1.3. Загальне порівняння пакетів ремонту

Пакет модернізації	Енергозбереження (%)	Зменшення CO ₂ (%)	Економія (рік)	Початкова вартість	Техніко-екон. обґрунтування будівництва	Рейтинг найменшого впливу на навколишнє середовище
1	62,62%	85,85%	50,50%	Низький	Високий	7
2	62,62%	85,85%	51,51%	Помірний	Високий	5
3	64,64%	84,84%	53,53%	Помірний	Помірний	2
4	62,62%	86,86%	50,50%	Високий	Помірний	8
5	64,64%	86,86%	53,53%	Високий	Помірний	1
6	62,62%	84,84%	51,51%	Низький	Високий	6
7	35,35%	61,61%	22,22%	Помірний	Високий	3
8	40,40%	68,68%	26,26%	Високий	Низький	4

Висновок

У цій роботі представлено нову концепцію, що об'єднує інформаційне моделювання будівель, моделювання експлуатаційних характеристик будівель та енергетичне моделювання будівель для реновації освітніх закладів. Метою є визначення стратегії реновації, яка зменшує споживання

енергії, викиди, мінімізує вплив на навколишнє середовище та покращує якість приміщень. Були визначені та згруповані в пакети різні методи реновації, кожен з яких зосереджений на чотирьох основних цілях: зменшення попиту на енергію та досягнення вуглецевої нейтральності, покращення звукоізоляції для забезпечення приватності, підвищення теплового комфорту та мінімізація довгострокового впливу на навколишнє середовище.

Дані, отримані на місці, були перехресно перевірені за допомогою інфрачервоного термографічного сканування для створення точних профілів і моделей будівлі. Потім модель будівлі була використана для моделювання енергоефективності. За допомогою енергетичного моделювання оцінювався вплив на навколишнє середовище різних пакетів реновації. Результати як експлуатаційного, так і енергетичного моделювання, а також дані про витрати були проаналізовані для визначення найбільш ефективної стратегії реновації. Дослідження підкреслює важливість збалансування енергоефективності, якості навколишнього середовища в приміщенні та довгострокового впливу на навколишнє середовище. Третій пакет реновації виявився оптимальним рішенням на основі всіх показників ефективності.

Ця концепція може бути застосована до великомасштабних проєктів, таких як реконструкція. Дослідження масштабного скорочення енергоспоживання зростають, а численні дослідження вивчають вплив реновації житла на енергетику та викиди. Передові цифрові технології дозволяють особам, які приймають рішення, оцінювати всі показники ефективності в рамках єдиної системи, забезпечуючи комплексне розуміння переваг запропонованих стратегій реновації.

РОЗДІЛ 2. ОПИС АРХІТЕКТУРНО-ПЛАНУВАЛЬНОГО РІШЕННЯ БУДІВЛІ

2.1. Ситуаційний план



Рис. 2.1. Ситуаційний план

Загальноосвітня школа розташована по вулиці Шкільній в місті Суми.

2.2. Об'ємно-планувальне рішення

Загальноосвітню школу в Сумах побудовано за принципом модульної побудови, пріоритетом як ефективності, довговічності та функціональності як проектування, так і виконання. Конструктивний каркас складається із збірних колон і балок, що сприяє швидкому монтажу та забезпечує надійний розподіл навантаження, таким чином зберігаючи структурну цілісність будівлі.

Система перекриття утворена монолітною бетонною плитою товщиною 250 мм за технологією незнімної опалубки. Цей метод забезпечує підвищену довговічність і неперевершену несучу здатність, що є необхідним для тривалої роботи за змінних структурних вимог. Зовнішні стіни складаються

із збірних панелей товщиною 250 мм. Цей підхід поєднує теплові показники з технікою будівництва, що економить час.

Будівля висотою 21 метра включає три надземні рівні, призначені для освітніх цілей, а також підвал, виділений для технічних і експлуатаційних потреб. Ця конструкція максимізує ефективне використання вертикального простору, одночасно гарантуючи, що навчальні середовища безпечні та сприяють функціональним вимогам сучасного навчального закладу.

Проект має квадратну планування будівлі, кожна сторона якої має 44,80 метра. Ця геометрична конфігурація покращує використання внутрішнього простору, одночасно створюючи сучасну архітектурну естетику. Центральне місце в дизайні займає шкільне подвір'я, яке слугує багатофункціональним простором, що підтримує низку заходів, заохочуючи навчання на свіжому повітрі та сприяючи залученню учнів до природного середовища. Цей внутрішній дворик поєднує внутрішні та зовнішні функції будівлі, сприяючи збалансованому освітньому досвіду.

2.3. Архітектурно-конструктивне рішення

Фундаменти та основи

Пальовий фундамент для школи, що перебуває на капітальному ремонті, призначений для забезпечення довготривалої стійкості конструкції та підвищеного тепло- і вологозахисту. Основними несучими елементами фундаменту є залізобетонні палі. Ці палі діаметром 400 мм, забиваються в землю на глибину до 15 метрів, щоб досягти стабільних шарів ґрунту. Палі армуються сталевими прутами діаметром від 12 до 16 мм, які збільшують міцність бетону на розрив і дозволяють конструкції ефективно витримувати як вертикальні, так і бічні навантаження. Така конструкція гарантує, що фундамент витримає вагу будівлі, передаючи навантаження на глибші, стабільніші шари, оминаючи слабші поверхневі ґрунти.

Для ізоляції використовується екструдований пінополістирол завдяки своїм чудовим тепловим властивостям і стійкості до вологи. Плити товщиною 100 мм, укладаються навколо стін фундаменту та фундаменту.

Низька теплопровідність матеріалу, приблизно 0,03 Вт/м·К, забезпечує ефективний тепловий бар'єр, зменшуючи втрати тепла через фундамент і підвищуючи загальну енергоефективність будівлі. Міцність на стиск близько 500 кПа, гарантує, що він може витримувати тиск навколишнього ґрунту, не втрачаючи при цьому своєї ізоляційної здатності. Крім того, закрита комірчаста структура робить його дуже стійким до водопоглинання, з коефіцієнтом водопоглинання менше 0,1%. Це гарантує, що ізоляція залишається ефективною навіть у вологих умовах, зберігаючи свої теплові характеристики з часом.

У місцях, де потрібна більша теплоізоляція, використовується пінополіуретан. Нанесений у вигляді розпилювача товщиною 50 мм, ППУ створює безшовний ізоляційний шар, який з'єднується безпосередньо з бетонною поверхнею, усуваючи теплові містки і забезпечуючи рівномірну ізоляцію по всьому фундаменту. Маючи теплопровідність 0,02 Вт/м·К, ППУ забезпечує чудову ізоляцію порівняно з іншими матеріалами. Закрита комірчаста структура також робить його дуже стійким до проникнення вологи, з коефіцієнтом водопоглинання менше 1%. Це гарантує, що фундамент залишається сухим і захищеним як від втрат тепла, так і від проникнення вологи.

Гідроізоляція досягається за допомогою комбінації бітумних мембран, модифікованих полімерами, та еластомерних покриттів. Бітумна мембрана, товщиною 4 мм на шар, наноситься в декілька шарів, утворюючи надійний водонепроникний бар'єр навколо фундаменту. Цей матеріал вибирають за його гнучкість і здатність витримувати переміщення всередині фундаменту без розтріскування, забезпечуючи тривалий захист від інфільтрації води. Бітумні мембрани також мають високу стійкість до хімічних речовин, що містяться в ґрунті, що ще більше підвищує їх довговічність в суворих умовах. У місцях, де потрібне більш гнучке рішення, еластомерні покриття наносяться шарами по 3 мм для створення безперервної водонепроникної мембрани. Це покриття, що має здатність до подовження понад 300%,

призначене для перекриття тріщин і пристосування до невеликих рухів всередині фундаменту без шкоди для його гідроізоляційних властивостей. Міцна адгезія до поверхні бетону гарантує, що воно утворює безшовний бар'єр, запобігаючи проникненню води в фундамент і пошкодженню конструкції.

Зовнішні, внутрішні стіни та перегородки

Стіни будівлі школи побудовані із залізобетонних збірних панелей товщиною 250 мм. Ці панелі відрізняються високою міцністю і довговічністю, забезпечуючи відмінну несучу здатність і стійкість як до механічних навантажень, так і до впливу навколишнього середовища. Армовані сталевими прутами, бетонні панелі ефективно протистоять розтягуючим і стискаючим зусиллям, сприяючи загальній структурній цілісності будівлі. Збірний характер панелей забезпечує однакову якість і швидкість будівництва, а товщина 250 мм створює надійний бар'єр для огорожувальних конструкцій будівлі, підвищуючи її теплову масу і структурну стабільність.

В рамках капітального ремонту стіни будуть утеплені 150 мм пінополістиролу. Цей шар ізоляції наноситься ззовні, щоб покращити теплові характеристики будівлі без шкоди для внутрішнього простору. Пінополістирол обрано через його низьку теплопровідність, приблизно 0,036 Вт/м·К, що значно зменшує теплопередачу через стіни. Товщина ізоляції 150 мм створює ефективний тепловий бар'єр, підвищуючи енергоефективність за рахунок мінімізації втрат тепла в холодні місяці та зменшення надходження тепла в теплі періоди.

На додаток до своїх теплових властивостей, пінополістирол має відмінну вологостійкість, гарантуючи, що ізоляція не руйнується у вологих умовах. Його легкість дозволяє легко встановлювати його поверх існуючих бетонних панелей, а стабільність розмірів гарантує, що він зберігає свої ізоляційні властивості з часом, не деформуючись і не даючи усадки. Ця зовнішня ізоляція кріпиться до бетонних панелей за допомогою клею та

механічних кріплень, щоб забезпечити надійне кріплення навіть за різних умов навколишнього середовища. Поверх ізоляції зазвичай наноситься захисне зовнішнє покриття для захисту від механічних пошкоджень і атмосферних впливів, що додатково збільшує термін служби як ізоляції, так і бетонних панелей, що лежать під нею.

Покрівля

Покрівля будівлі школи виконана у вигляді плоскої конструкції, що є практичним для міських умов та дозволяє ефективно використовувати простір. У рамках процесу реконструкції існуючий покрівельний матеріал було видалено, щоб усунути потенційне погіршення та полегшити встановлення сучасної системи ізоляції та гідроізоляції.

Після видалення старої покрівлі було підготовлено настил даху, щоб забезпечити чисту та гладку поверхню для нових матеріалів. Був встановлений шар теплоізоляції, який складається з жорсткого екструдованого пінополістиролу. Товщина ізоляції становить 150 мм. Цей шар відіграє вирішальну роль у мінімізації втрат тепла через дах, підвищенні енергоефективності та підтримці комфортного середовища в приміщенні протягом року.

Після монтажу утеплювача на всю поверхню покрівлі було нанесено безшовне покриття з пінополіуретану. Пінополіуретан відомий своїми винятковими ізоляційними властивостями та здатністю утворювати суцільний водонепроникний бар'єр. При нанесенні ППУ розширюється та зчіплюється з основою, заповнюючи будь-які проміжки та створюючи монолітний шар, який запобігає проникненню води. Товщина поліуретанового шару коливається від 30 мм до 50 мм, що забезпечує ефективну гідроізоляцію, а також чудову теплоізоляцію зі значеннями теплопровідності близько 0,025 Вт/м·К.

Поліуретанове покриття також має еластомерні властивості, що дозволяє йому сприймати незначні рухи в конструкції даху без розтріскування або втрати цілісності. Ця гнучкість є важливою для плоских

дахів, оскільки вони можуть зазнавати коливань температури та осідати з часом. Крім того, це покриття стійке до ультрафіолетового випромінювання, гарантуючи збереження своїх експлуатаційних характеристик навіть під тривалим перебуванням на сонці.

Покриття підлог

Система підлоги в школі є критично важливим компонентом, який сприяє загальній функціональності, естетичності та довговічності будівлі. У рамках капітального ремонту в різних приміщеннях школи буде встановлено спеціальні матеріали для підлоги, щоб відповідати різноманітним вимогам кожного приміщення.

У класах буде використано високоякісне вінілове покриття. Вінілові підлоги користуються перевагою через їх довговічність, легкість догляду та комфорт під ногами. Вініл у формі плиток товщиною 5 мм. Ця плитка створена так, щоб імітувати природні матеріали, такі як дерево чи камінь, водночас забезпечуючи чудову стійкість до подряпин, вм'ятин і плям. Поверхню часто обробляють поліуретановим шаром, що підвищує її зносостійкість і полегшує очищення.

У спортзалі встановлять спеціалізовану систему спортивного покриття. Ця підлога складається з твердої деревини розробленого спеціально для спортивних занять. Варіант з листяної деревини може складатися з твердої деревини клена або інженерної деревини товщиною близько 22 мм, відомої своєю чудовою стійкістю, довговічністю та естетичною привабливістю. Цей тип підлоги забезпечує відмінну амортизацію, зменшуючи вплив на суглоби спортсменів і підвищуючи безпеку під час фізичних навантажень. Крім того, синтетичні поверхні можуть мати нековзку текстуру для покращення зчеплення, забезпечуючи безпечне середовище для занять спортом і відпочинку.

У зоні їдальні та кухні, а також в туалетах та ванних кімнатах встановлюють керамічну плитку, завдяки своїй довговічності, легкості миття, стійкості до вологи та плям. Керамічна плитка має товщину 10 мм і буде

обрана через її непористу природу, що робить її ідеальною для місць з інтенсивним рухом людей, де розливи є звичайним явищем. Ця плитка також може бути текстурована, щоб забезпечити захист від ковзання, що має вирішальне значення на кухнях і їдальнях, де ймовірні розлиття їжі та рідини.

Для коридорів буде використовуватись листове покриття товщиною від 3 мм. Цей тип підлоги розроблений таким чином, щоб витримувати інтенсивний пішохідний рух, водночас забезпечуючи низьке обслуговування та легке очищення.

Вікна та двері

Таблиця 2.1. Специфікація дверних прорізів

Мар, поз	Позначення	Найменування	Кількість на поведі					Маса од., кг.	Примітка
			1	2	3	4	Всього		
Д-1	Д.В. 1450x2100	Д-1	2				2		
Д-2	Д.М. 1200x2100	Д-2	3	3	3	3	12		
Д-3	ДО 1200x2100	Д-3	3	3	3	3	12		
Д-4	ДГ 900x2100	Д-4	6	6	6	6	24		
Д-5	Д.Б. 800x2100	Д-5	4	4	4	4	16		
Д-6	ДГ 800x3000	Д-6	11	1 1	1 1	1 1	44		

Таблиця 2.2. Специфікація віконних прорізів

Мар, поз	Позначення	Найменування	Кількість на поведі					Маса од., кг.	Примітка
			1	2	3	4	Всього		
1	ВК-1	ВК1385x1670	8	8	8	8	32		
2	ВК-2	ВК1385x1820	4	4	4	4	16		

Зовнішнє і внутрішнє опорядження

У рамках капітального ремонту школи виконується фарбування фасаду. Після того, як ізоляція надійно встановлена та оброблена базовим шаром з армуючої сітки та цементного клею, починається процес ґрунтування та фарбування. Для забезпечення належного зчеплення між ізоляційною поверхнею та фарбою буде застосовано високоякісну ґрунтовку, спеціально розроблену для систем зовнішньої ізоляції. Ця ґрунтовка діє як сполучний агент і забезпечує стабільну основу для остаточних шарів фарби.

Вибраною фарбою для фасаду буде акрилова латексна фарба для зовнішніх робіт, відома своєю чудовою міцністю та стійкістю до погодних умов. Цей тип фарби також має високу еластичність, що дозволяє їй сприймати незначні рухи утеплювача та фасадних матеріалів без утворення тріщин. Буде нанесено два-три шари фарби, кожен з яких призначений для захисту будівлі від вологи, ультрафіолетового випромінювання та забруднювачів навколишнього середовища. Крім того, колір фасаду відіграватиме важливу роль як в естетиці, так і в енергоефективності. Світлі кольори, які відбивають сонячне тепло, допоможуть зменшити споживання енергії для охолодження в теплі місяці, зберігаючи свіжий і чистий зовнішній вигляд.

Нарешті, на поверхню можна нанести захисне фінішне покриття, щоб ще більше підвищити стійкість фарби та продовжити термін служби фасадної обробки. Цей прозорий верхній шар діє як щит від дощу, бруду та потенційних механічних пошкоджень, забезпечуючи, щоб будівля школи залишалася візуально привабливою та структурно міцною протягом багатьох років. Завдяки інтеграції ізоляції з новою системою фарбування фасаду, ремонт не тільки модернізує зовнішній вигляд школи, але й значно покращує її енергоефективність та стійкість до факторів навколишнього середовища.

Стіни та стелі шкільної будівлі є невід'ємними складовими, які створюють загальну функціональність, естетику та акустику кожного приміщення. У рамках капітального ремонту будуть обрані спеціальні

матеріали для підвищення довговічності, теплових характеристик і візуальної привабливості різних приміщень.

Для класів, спортзалу, їдальні та коридорів стіни будуть зведені з використанням систем гіпсокартону. Гіпсокартон широко відомий своєю універсальністю, простотою монтажу та чудовими акустичними властивостями. Стандартна товщина гіпсокартону становитиме 12,5 мм, що забезпечує достатню міцність і довговічність для внутрішніх стін. Дошки будуть встановлені на металевих каркасах, що забезпечує чисту, гладку поверхню, яку можна легко пофарбувати або обробити для створення привабливого навчального середовища.

Для підвищення вогнестійкості та акустичних характеристик вогнестійкий гіпсокартон можна використовувати в окремих приміщеннях, зокрема в коридорах і спортзалах, де пожежна безпека має першорядне значення. Цей тип плит містить добавки, які підвищують її вогнестійкість, забезпечуючи дотримання правил безпеки. Крім того, акустичні властивості гіпсокартону допомагають зменшити передачу звуку між суміжними кімнатами, створюючи більш тихе середовище, сприятливе для навчання та діяльності.

У обідніх зонах керамічну плитку також використовуватимуть для обробки стін, особливо в місцях, схильних до вологи та розливів, наприклад, навколо раковин і зон приготування їжі. Керамічна плитка має товщину 8 мм і вибирається через її довговічність, легкість очищення та стійкість до плям і вологи. Їхня непориста поверхня запобігає поглинанню рідин, що робить їх ідеальним вибором для гігієнічних застосувань. Керамічну плитку, доступну в різних кольорах і візерунках, можна вибрати, щоб створити візуально привабливу атмосферу в обідній зоні, забезпечуючи при цьому відповідність стандартам охорони здоров'я та безпеки.

Для стель у класних кімнатах, спортзалах, коридорах буде реалізовано систему підвісних акустичних стель. Ця система складається з акустичних стельових плит товщиною 15 мм, встановлених у сітчастому каркасі.

Акустичні плитки призначені для поглинання звуку, покращуючи акустичне середовище в класах шляхом зниження рівня шуму та покращення розбірливості мови. Цю плитку можна вибрати в різних варіантах обробки та кольорів, що дозволяє налаштувати її відповідно до загального дизайну школи.

У таких приміщеннях, як їдальня та туалети, будуть використовуватися вологостійкі стельові панелі. Ці панелі, часто виготовлені з вінілу або покритого гіпсу, мають товщину 12 мм і спеціально розроблені, щоб витримувати високі рівні вологості без погіршення. Їх гладку поверхню легко чистити та доглядати, забезпечуючи гігієнічне середовище в цих критичних зонах.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Пожежна безпека об'єктів будівництва: ДБН В.1.1.7-2016 [Чинний від 2017-06-01]. -К: Держбуд України, 2017. – 84 с. (Національні стандарти України).
2. Благоустрій територій (зі Змінами): ДБН Б.2.2-5:2011 [Чинний від 2012-09-01]. -К: Мінрегіонбуд України, 2019. – 44 с. (Національні стандарти України).
3. Природне і штучне освітлення: ДБН В.2.5-28:2018 [Чинний від 2019-02-28]. -К: Мінрегіонбуд України, 2018. – 7 с. (Національні стандарти України).
4. Склад та зміст проектної документації на будівництво: ДБН А.2.2-3-2014 [Чинний від 2014-10-01]. -К: Мінрегіонбуд України, 2014. – 10 с. (Національні стандарти України).
5. Теплова ізоляція будівель: ДБН В.2.6-31:2016 [Чинний від 2016-10-01]. -К: Мінрегіонбуд України, 2017. – 15 с. (Національні стандарти України).
6. Навантаження і впливи. Норми проектування: ДБН В.1.2-2:2016 [Чинний від 2017-10-01]. -К: Мінрегіонбуд України, 2016. – 13-16 с. (Національні стандарти України).
7. Основи і фундаменти будівель та споруд. Основні положення: ДБН В.2.1-10:2018.
8. Конструкції зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією: ДБН В.2.6-33:2018.
9. Кам'яні та армокам'яні конструкції: ДБН В.2.6-162:2010.
10. Покриття будівель і споруд: ДБН В.2.6-220:2017
11. Кошторисні норми України. Ресурсні елементні кошторисні норми на будівельні роботи. Підлоги.
12. Вікна та двері: ДСТУ EN 14351-1:2020.
13. Кошторисні норми України. Ресурсні елементні кошторисні норми на будівельні роботи. Оздоблювальні роботи

14. Каналізація. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування: ДБН В.2.5-75:2013.

15. Охорона праці і промислова безпека в будівництві ДБН А.3.2-2-2009: [Чинний від 2012-04-01]. -К: Мінрегіонбуд України, 2012. – 53-54 с. (Національні стандарти України).

16. Організація будівельного виробництва: ДБН А.3.1-5:2016 [Чинний від 2016-01-01]. -К: Мінрегіонбуд України, 2016. – 44-46 с. (Національні стандарти України).

17. Кошторисні норми України «Настанова з визначення вартості будівництва»: [Чинний від 2021-11-09]. -К: Мінрегіонбуд України, 2021. – 44-46 с. (Національні стандарти України).

18. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення: ДБН В.2.6- 98:2009 [Чинний від 2011-01-01]. -К: Мінрегіонбуд України, 2011. – 45 с. (Національні стандарти України).