

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Навчально-науковий інститут енергозбереження та енергоменеджменту
(повна назва інституту)

Кафедра електропостачання
(повна назва кафедри)

«На правах рукопису»
УДК _____

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ Олена БОРИЧЕНКО

« ____ » _____ 2025 р.

Магістерська дисертація

зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
освітня програма Енергетичний менеджмент та енергоефективні технології

на тему: «Аналіз вимог енергоефективності в будівельному фонді з оцінюванням енергетичних характеристик будівлі та розробкою пропозицій для територіальних громад щодо проєктного менеджменту»

Виконав (-ла): студент (-ка) II курсу, групи ГН-41мп

_____ Дорошкевич Вікторія Олександрівна _____
(прізвище, ім'я по батькові) (підпис)

Науковий керівник к.т.н., доц. Шовкалюк Марина Михайлівна _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали) (підпис)

Нормоконтроль провідний інженер Прокопенко І.Д. _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали) (підпис)

Рецензент д-р філософії Яценко О.І., ІАТЕ КПІ ім.Ігоря Сікорського _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали) (підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.
Студентка _____

Київ – 2025 року

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»**

Інститут/факультет Навчально-науковий інститут енергозбереження та енергоменеджменту

Кафедра електропостачання

(повна назва)

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-професійною програмою

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Освітня програма «Енергетичний менеджмент та енергоефективні технології»

Завідувач кафедри

_____ Олена БОРИЧЕНКО

« ____ » _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ

на магістерську дисертацію студенту

Дорошкевич Вікторії Олександрівни

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації « Аналіз вимог енергоефективності в будівельному фонді з оцінюванням енергетичних характеристик будівлі та розробкою пропозицій для територіальних громад щодо проєктного менеджменту»
науковий керівник дисертації Шовкалюк Марина Михайлівна, к.т.н.,
доцент _____,

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

затверджені наказом по університету від 03 листопада 2025 р. №4749-с

2. Строк подання студентом дисертації: 17 грудня 2025 року
3. Об'єкт дослідження: адміністративна будівля розташована у I температурній зоні, що має два поверхи і підвальне приміщення
4. Предмет дослідження: методи, моделі та програмно-аналітичні засоби для аналізу енергетичних характеристик будівель та застосування інструментів проєктного менеджменту для реалізації проєктів підвищення енергоефективності
5. Перелік завдань, які потрібно розробити: 1) правові засади регулювання сфери енергоефективності; 2) проєкти підвищення енергоефективності; 3) огляд програмного забезпечення у сфері енергоаудиту; 4) розрахунки та аналіз показників енергоефективності будівлі з використанням ВДЕ; 5) розробка стартап-проєкту з використанням штучного інтелекту у сфері енергоефективності

6. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу: презентація – наочні матеріали за результатами дослідження

7.Орієнтовний перелік публікацій:

1) Шовкалюк М.М., Дорошкевич В.О. Розробка концепції використання цифрових технологій і застосування інструментів проєктного менеджменту для участі громад у проєктах підвищення енергоефективності

2) Дорошкевич В.О., Шовкалюк М.М. Аналіз технічних рішень щодо огорожень та інженерних систем адміністративної будівлі для забезпечення вимог енергоефективності згідно діючих норм

8.Консультанти розділів дисертації

Нормоконтроль

Прокопенко І.Д.

9.Дата видачі завдання 01 вересня 2025 року

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів МД	Примітка
1	Затвердження теми магістерської дисертації	01.09.2025	Вик.
2	Аналіз літературних джерел та нормативної бази	01.09.2025 – 10.09.2025	Вик.
3	Аналіз вимог до нових будівель	10.09.2025 – 15.09.2025	Вик.
4	Огляд існуючого програмного забезпечення	15.09.2025 – 20.09.2025	Вик.
5	Визначення показників питомого енергоспоживання	20.09.2025 – 01.10.2025	Вик.
6.	Визначення теплотехнічних характеристик	01.11.2025 – 10.11.2025	Вик.
7.	Розрахунок енергетичних характеристик	10.11.2025 – 24.11.2025	Вик.
8.	Визначення класу енергоефективності	24.11.2025 – 28.11.2025	Вик.
9.	Стартап-проект	28.11.2025 – 10.12.2025	Вик.
10.	Підготовка слайдів для захисту МД	10.12.2025 – 18.12.2025	Вик.

Студент

(підпис)

(ініціали, прізвище)

Науковий керівник дисертації

(підпис)

(ініціали, прізвище)

РЕФЕРАТ

Структура і обсяг роботи магістерської дисертації – 127 аркушів, кількість рисунків – 21, кількість таблиць – 39, кількість бібліографічних найменувань – 46, кількість додатків – 1.

Актуальність: вимоги щодо енергоефективності в будівельному фонді постійно зростають. Ці вимоги стосуються питомого енергоспоживання, зовнішніх огорожень та інженерних систем і обладнання під час проєктування нових будівель і розробки проєктів реконструкції, в тому числі під час відновлення будівель, зруйнованих під час військової агресії. В 2025 році були впроваджені нові вимоги стосовно NZEB- будівель. У зв'язку з цим актуальним є проведення енергетичного моделювання будівель та застосування різних методів і засобів аналізу її енергетичних характеристик. Вивчення особливостей технічних рішень для будівель згідно вказаних вимог є актуальним завданням для дослідження. Важливим також є роль територіальних громад для впровадження проєктів підвищення енергоефективності та досягнення національних цілей зі збереження енергії та кліматичної нейтральності. Проте успішна реалізація потребує розуміння технічних та процедурних аспектів, а також основ проєктного менеджменту, а фахівці часто перевантажені або не мають відповідних компетенцій. Застосування інструментів проєктного менеджменту дозволить покращити рівень управління під час реалізації наявного потенціалу енергозбереження у будівельному фонді.

Метою даного дослідження є оцінювання енергетичних характеристик адміністративної будівлі шляхом проведення енергетичного аудиту з використанням сучасних програмно-аналітичних інструментів із застосуванням відновлюваних джерел енергії та підходів проєктного менеджменту для територіальних громад.

Об'єкт дослідження: адміністративна будівля, розташована в I температурній зоні, що має два поверхи та підвальне приміщення, в якому організовано укриття.

Предмет дослідження: методи, моделі та програмно-аналітичні засоби для аналізу енергетичних характеристик будівель та застосування інструментів проєктного менеджменту для реалізації проєктів підвищення енергоефективності.

Наукова новизна полягає у комплексному аналізі характеристик енергоефективності і застосуванні сучасного програмного забезпечення для енергетичного моделювання, а також у розробці стартап-проєкту для покращення проєктного менеджменту на рівні територіальних громад.

Практична значущість: матеріали роботи можуть бути використані у навчальному процесі для підготовки фахівців у сфері енергетичного менеджменту, а також під час вибору технічних рішень для будівель і під час впровадження проєктів підвищення енергоефективності.

Апробація результатів дослідження: Результати досліджень були апробовані на 2 науково-практичних конференціях (з публікацією тез доповідей), а також за результатами магістерської дисертації підготовлено до публікації 1 статтю.

Ключові слова: ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ, БУДІВЛЯ, ЕНЕРГЕТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ, ПРОЄКТНИЙ МЕНЕДЖМЕНТ, ТЕРИТОРІАЛЬНІ ГРОМАДИ.

ABSTRACT

Structure and scope of the master's thesis – 127 pages, number of figures – 21, number of tables – 39, number of bibliographic references – 46, number of appendices – 1.

Relevance: Energy efficiency requirements in the building stock are constantly increasing. These requirements apply to specific energy consumption, external enclosures, and engineering systems and equipment during the design of new buildings and the development of reconstruction projects, including the restoration of buildings destroyed during military aggression. In 2025, new requirements for NZEB buildings were introduced. In this regard, it is relevant to conduct energy modeling of buildings and apply various methods and means of analyzing their energy characteristics. Studying the features of technical solutions for buildings in accordance with these requirements is a relevant task for research. The role of local communities is also important for the implementation of energy efficiency projects and the achievement of national energy conservation and climate neutrality goals. However, successful implementation requires an understanding of technical and procedural aspects, as well as the basics of project management, and specialists are often overloaded or lack the relevant competencies. The use of project management tools will improve the level of management during the implementation of the existing energy saving potential in the building stock.

The purpose of this study is to assess the energy performance of an administrative building by conducting an energy audit using modern software and analytical tools, applying renewable energy sources and project management approaches for local communities.

Object of study: an administrative building located in temperature zone I, with two floors and a basement, in which a shelter is organized.

Subject of study: methods, models, and software and analytical tools for analyzing the energy characteristics of buildings and applying project management tools to implement energy efficiency improvement projects.

The scientific novelty lies in the comprehensive analysis of energy efficiency characteristics and the application of modern software for energy modeling, as well as in the development of a start-up project to improve project management at the level of local communities.

Practical significance: the materials of the work can be used in the educational process for training specialists in the field of energy management, as well as when selecting technical solutions for buildings and during the implementation of energy efficiency improvement projects.

Approbation of research results: The research results were approved at two scientific and practical conferences (with the publication of abstracts), and one article was prepared for publication based on the results of the master's thesis.

Keywords: ENERGY CONSUMPTION, BUILDING, ENERGY MODELING, PROJECT MANAGEMENT, TERRITORIAL COMMUNITIES.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	12
РОЗДІЛ 1. ПРАВОВІ ЗАСАДИ РЕГУЛЮВАННЯ СФЕРИ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ В БУДІВЕЛЬНОМУ СЕКТОРІ.....	14
1.1 Огляд стану справ щодо енергоефективності в ЖКГ та проблеми територіальних громад.....	14
1.2 Вимоги щодо енергоефективності у будівельному фонді	19
1.3 Вимоги до NZEB-будівель	24
Висновок до 1 розділу.....	26
РОЗДІЛ 2 ПРОЄКТИ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ: ТЕХНІКО- ЕКОНОМІЧНІ АСПЕКТИ.....	28
2.1 Методи залучення фінансування і програми підтримки заходів підвищення енергоефективності	28
2.2 Методологічні засади розрахунку показників ефективності енергоспоживання будівель	37
2.3 Огляд програмного забезпечення в сфері енергоаудиту та енергоефективного будівництва	43
Висновок до 2 розділу.....	48
РОЗДІЛ 3 РОЗРАХУНКИ ТА АНАЛІЗ ПОКАЗНИКІВ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ БУДІВЛІ З ВИКОРИСТАННЯМ ЕНЕРГІЇ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	49
3.1 Визначення показників питомого енергоспоживання громадської будівлі для нового будівництва	49
3.2 Розрахунок енергетичних характеристик	63
3.3 Оцінка тепловологісного стану конструкції	79
3.4 Моделювання енергоспоживання будівлі в E-Audit.....	85
Висновок до розділу 3.....	90
РОЗДІЛ 4 СТАРТАП- ПРОЄКТ: ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ В ПРОЄКТНОМУ МЕНЕДЖМЕНТІ ПРОЄКТІВ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ.....	92

4.1 Ідея проєкту	92
4.2 Технологічний аудит ідеї проєкту	96
4.3 Аналіз ринкових можливостей стартап-проєкту	98
4.4 Ринкова стратегія проєкту.....	107
4.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проєкту	110
Висновок до 4 розділу.....	112
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	114
ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА	116
ДОДАТКИ.....	Помилка! Закладку не визначено.

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАК ТА ТЕРМІНІВ

Скорочення

- ДСТУ – Державний стандарт України;
 ДБН – Державні будівельні норми;
 ІТП – індивідуальний тепловий пункт;
 ГВП – гаряче водопостачання;
 ВДЕ – відновлювані джерела енергії;
 СЕС – сонячна електростанція;
 ФЕЕ – Фонд енергоефективності;
 ESCO (ЕСКО) – енергосервісна компанія;
 HVAC – системи опалення, вентиляції та кондиціонування повітря;
 SAM – System Advisor Model;
 BIM – інформаційне моделювання будівель (Building Information Modeling).

Умовні позначення та символи

- $E_{P_{use}}$ – річне розрахункове значення загального показника питомого енергоспоживання будівлі при опаленні та охолодженні;
 E_{P_p} – граничне значення питомого енергоспоживання;
 $R_{\Sigma_{np}}$ – приведений опір теплопередачі непрозорої огорожувальної конструкції чи непрозорої частини огорожувальної конструкції;
 $R_{q_{min}}$ – мінімально допустиме значення приведенного опору теплопередачі непрозорої огорожувальної конструкції чи непрозорої частини огорожувальної конструкції, мінімально допустиме значення приведенного опору теплопередачі світлопрозорої огорожувальної конструкції;
 $\Delta\theta_{int-si}$ – різниця між температурою внутрішнього повітря і приведеною температурою внутрішньої поверхні огорожувальної конструкції за внутрішніми розмірами;
 Ψ_m – лінійний коефіцієнт теплопередачі лінійного теплопровідного включення;

I_m – лінійний розмір (проекція) лінійного теплопровідного включення;
 χ_j – точковий коефіцієнт теплопередачі точкового теплопровідного включення;

N_j – загальна кількість точкових містків холоду;

θ_{int} – температура внутрішнього повітря;

θ_{ext} – розрахункова температура зовнішнього повітря, для I зони;

F_Σ – загальна площа світлопрозорих огорожувальних конструкцій;

F_{cn} – загальна площа склопакетів;

$F_{проф}$ – загальна площа рам віконних блоків;

R_{cn} –приведений опір теплопередачі термічно однорідного склопакету;

$R_{проф}$ –приведений опір теплопередачі елементів із профілю;

F – площа огорожувальної конструкції;

δ – товщина.

Терміни

Енергетична ефективність будівлі – здатність будівлі забезпечувати нормативні умови мікроклімату за мінімального споживання енергетичних ресурсів.

Термомодернізація – сукупність технічних заходів, спрямованих на зменшення тепловтрат будівлі та підвищення її енергоефективності.

Відновлювані джерела енергії – джерела енергії, що постійно відновлюються природним шляхом та не призводять до вичерпання ресурсів.

Енергетичне моделювання – процес математичного та комп'ютерного моделювання енергоспоживання будівлі з урахуванням її конструктивних і експлуатаційних характеристик.

Програмно-аналітичне забезпечення – сукупність програмних засобів, що використовуються для розрахунку, аналізу та прогнозування енергетичних показників будівель.

ВСТУП

Сучасний розвиток енергетики та будівельної галузі характеризується зростанням уваги до питань енергоефективності, раціонального використання енергетичних ресурсів та зменшення негативного впливу на довкілля. Підвищення вартості енергоносіїв, необхідність скорочення викидів парникових газів і виконання міжнародних зобов'язань у сфері кліматичної політики зумовлюють актуальність впровадження енергоефективних рішень у будівлях різного функціонального призначення.

В Україні значна частка будівель була зведена за застарілими нормативами та експлуатується з низьким рівнем енергоефективності, що призводить до надмірного споживання теплової та електричної енергії. В умовах обмежених фінансових ресурсів територіальних громад особливого значення набуває обґрунтований вибір технічних рішень для нових будівель, а також вибір заходів з підвищення енергоефективності в існуючих будівлях, що базується на результатах професійного енергетичного аудиту [1]. Питання підвищення енергоефективності усіх галузей, включаючи будівельний фонд, описано на законодавчому рівні [2, 3], інших нормативно-правових актах [4-7], в будівельних нормах [8-10] і стандартах [11-14], запроваджено програми підтримки термомодернізації будівель [15-19]. Зважаючи на міжнародні зобов'язання, прийнятий Національний план та концепцію збільшення кількості NZEB-будівель (тобто будівель з нульовим рівнем енергоспоживання) зростає зацікавленість територіальних громад щодо проєктування і реконструкції будівель, які підходять під цю категорію [20, 21].

Важливу роль у процесі вибору проєктних рішень та прогнозування результатів впровадження енергоефективних заходів відіграє енергетичне моделювання і використання сучасного програмно-аналітичного забезпечення, яке дозволяє автоматизувати розрахунки відповідно до чинних нормативних документів. Для адміністративних будівель реалізація таких рішень має також прикладне та демонстраційне значення, формуючи практику енергоефективного

розвитку на рівні територіальних громад. Для спрощення та автоматизації процесів управління енергоефективними проєктами в громадах доцільно застосовувати інструменти проєктного менеджменту.

Поширюючи на власному прикладі енергоефективні практики для будівель і об'єктів комунального господарства, територіальна громада може стати прикладом для інших секторів і сприяти досягненню національних цілей з декарбонізації та зменшення енергетичної залежності нашої держави [23].

З огляду на зазначене, у магістерській дисертації здійснюється аналіз нормативно-правової бази та наявного досвіду впровадження енергоефективних заходів, розглядаються можливості застосування програмного забезпечення для енергетичного аудиту та енергетичного моделювання, а також обґрунтовуються напрями підвищення енергоефективності адміністративної будівлі з урахуванням сучасних технічних і організаційних підходів.

Також розроблено концепцію онлайн-платформи, що дозволить спростити реалізацію проєктів підвищення енергоефективності із застосуванням цифрових технологій і інструментів проєктного менеджменту [23].

РОЗДІЛ 1 ПРАВОВІ ЗАСАДИ РЕГУЛЮВАННЯ СФЕРИ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ В БУДІВЕЛЬНОМУ СЕКТОРІ

1.1 Огляд стану справ щодо енергоефективності в ЖКГ та проблеми територіальних громад

Стан справ в житлово-комунальному господарстві

В Україні налічується близько 9,2 млн житлових будинків [24], які в свою чергу споживають близько 40% енергії. Більша частина з них була побудована ще за часів радянського союзу, тож енергоефективність в них дуже низька [25]. Налічується 240 тис. багатоквартирних будинків, з них близько 80 – висотних; 7740 тис. домогосподарств [25]. Частка споживання житлового сектору від загального енергоспоживання різних країн світу представлена на [рис.1.1](#). В Україні вона значною і становить близько 35%, що обумовлює необхідність підвищення енергоефективності будівель.

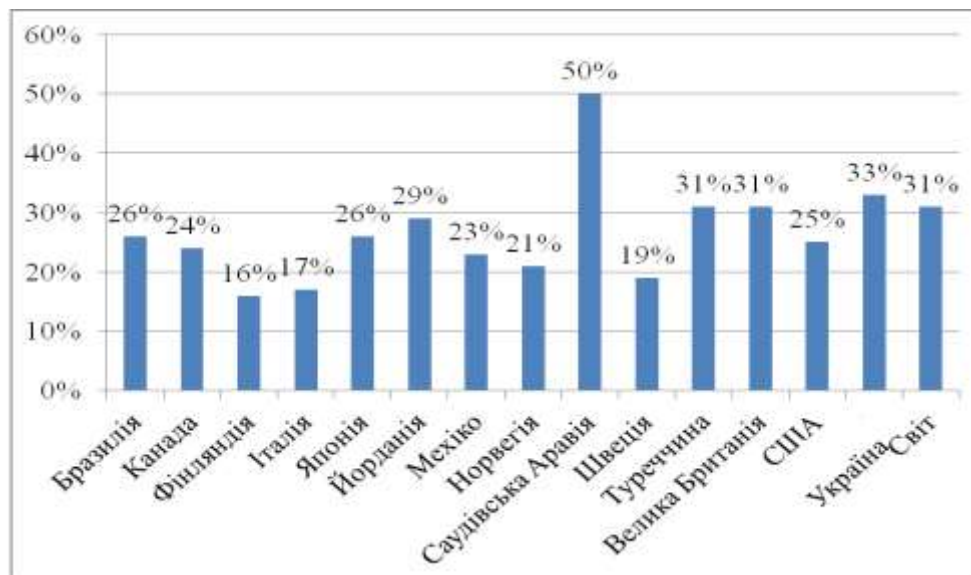


Рисунок 1.1 – Світове енергоспоживання житловим сектором [25]

Енергоефективність житлових будівель в Україні є низькою, адже більше 50 % житлових будівель побудовані до 1970 р., коли нормативи по тепловому захисту будівель були низькими, а середнє питоме енергоспоживання в

багатоквартирних житлових будинках у 2-3 рази вище, ніж відповідний показник у розвинутих державах-членах ЄС. Енергоспоживання будівель становить близько 250-350 кВт·год/м², а в країнах євросоюзу – 70-120 кВт·год/м² [25]. Інженерні мережі побудовано за часів радянського союзу, вони потребують або реконструкції, або повної заміни.

В Україні до 1990 року було збудовано 85 % майнового фонду. Такі будинки, у порівнянні з новобудовами, споживають на 70% енергії більше, за рахунок зношеності інженерних мереж та недостатнього теплового опору огорожувальних конструкцій. Так, зокрема, для існуючих будівель значення опору теплопередачі зовнішніх стін становить близько 0,8÷1 м²·К/Вт, при цьому нормативне значення для I температурної зони сьогодні становить 4 м²·К/Вт [9].

Сьогодні житлово-комунальна сфера споживає близько 40% природного газу для обігріву будівель, виробництва гарячої води, в той час, як в 1991р. цей показник не перевищував 25 %. Економічно доцільний потенціал енергозбереження в житловій сфері може досягати 60 % і більше [24, 25]. Тарифна політика, на жаль, не сприяє політиці енергозбереження в Україні. Українські побутові споживачі мають найдешевший газ у Європі (рис.1.2).

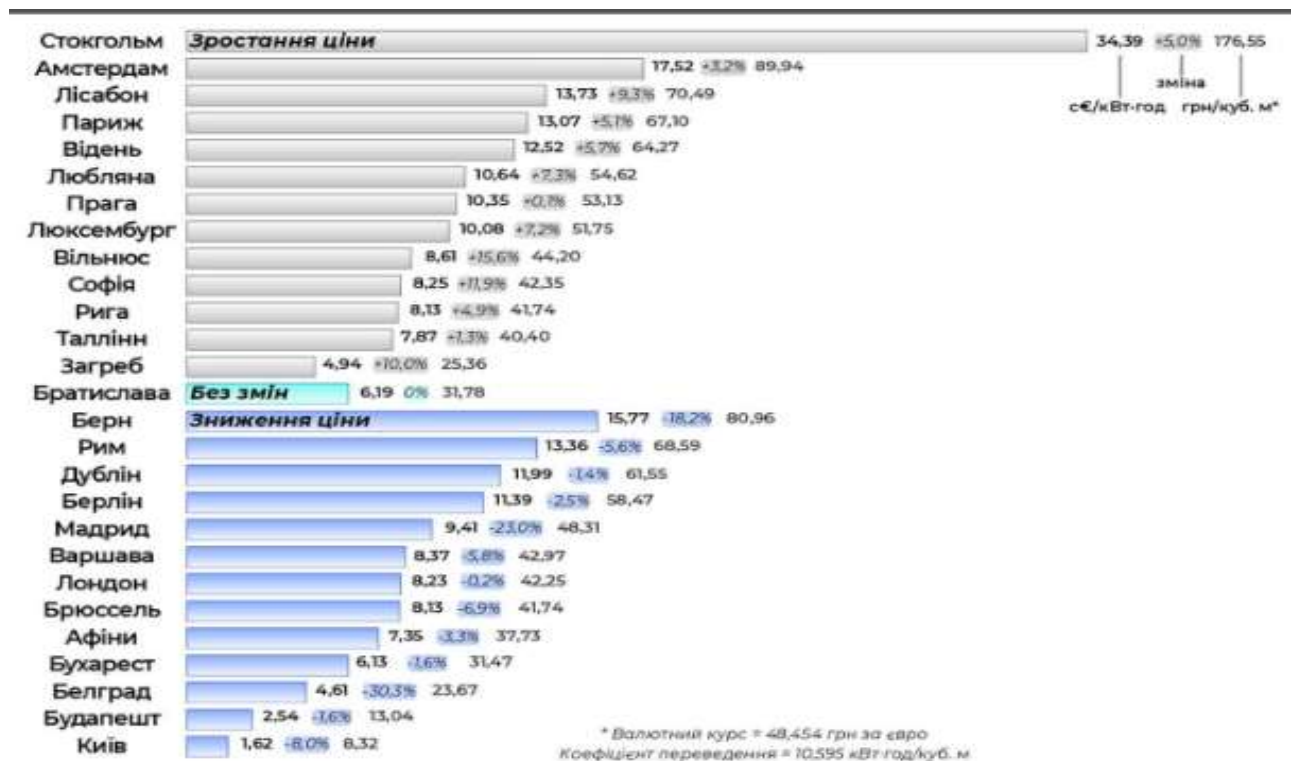


Рисунок 1.2 – Порівняльний аналіз вартості природного газу [26]

У Києві ціна виявилася найнижчою серед європейських, адже склала 8,32 грн/куб. м. Це в 6,3 рази менше за 52,31 грн/куб. м – середню ціну для мешканців 27 європейських столиць [26].

У 2015 році вступив в роботу новий закон [27], який надав право співвласникам багатоквартирного будинку обирати самостійно форму управління. А в 2017 з'явився інший закон [17], який розпочав діяльність Фонду енергоефективності (ФЕЕ). Завдяки програмам фонду «Енергодім» та «ГрінДім» багатоквартирні будівлі можуть модернізувати систему опалення чи провести теплоізоляцію будинку, встановити теплові насоси чи сонячні панелі і отримати від фонду кошти в розмірі до 70%. Завдяки ним вдалося реалізувати вже понад 1000 проєктів. З початком повномасштабної війни Фонд енергоефективності впровадив ще одну програму «ВідновиДім», яка фінансує будівельні роботи по відновленню ОСББ, пошкодженні внаслідок військової агресії, при цьому дотримуючись вимог щодо енергоефективності огорожувальних конструкцій і інженерних систем. Однак в Україні існує велика кількість будівель, яка потребує термомодернізації – понад 80% за оцінкою Фонду [16].

Для фінансування заходів з підвищення енергоефективності в громадських будівлях і спорудах власники співпрацюють з Фондом декарбонізації, ЕСКО-компаніями, а територіальні громади залучають кошти інвесторів за різними програмами підтримки. Більш детально ця тема буде розглянута в розділі 2 магістерської дисертації.

Проблеми територіальних громад

Місцева влада відіграє ключову роль у просуванні ініціатив з енергоефективності [2, 3] і формуванні відповідних цінностей, а також відіграють значну роль у реалізації державної політики енергоефективності.

Поширюючи енергоефективні практики, громада може стати прикладом для інших секторів і сприяти досягненню національних цілей зі збереження енергії і декарбонізації. Проте успішна реалізація потребує глибокого розуміння технічних, фінансових та процедурних аспектів. Програми підвищення енергоефективності або затверджені плани дій сталого енергетичного розвитку

та клімату приблизно в 50% громад, а система робота щодо підвищення ефективності енергоспоживання в бюджетній сфері проводиться лише в половині громад [28]. Незважаючи на наявність програм підтримки [15,16], багато громад стикаються з труднощами у впровадженні проєктів підвищення енергоефективності.

Громади стикаються з таким проблемами [28]:

- нестача кваліфікованого персоналу, що здатні супроводжувати проєкти підвищення енергоефективності, відсутність досвіду;

- низький рівень енергоменеджменту: не всі громади мають фахівців, відповідальних за енергоспоживання, існує брак кадрів для впровадження систем моніторингу та заходів для енергозбереження; крім того працівники суміщають багато різних обов'язків і перезавантажені; відсутні системи автоматизованого моніторингу і контролю споживання;

- існують ризики, пов'язані із військовими діями і станом економіки,

- відсутня технічна документація;

- недостатнє фінансування місцевих бюджетів, що унеможливорює масштабну модернізацію за власні кошти; існує потреба у залученні фінансування і супроводження таких проєктів від міжнародних фондів;

- відсутність контролю якості виконання будівельних робіт, відсутність моніторингу і контролю результатів впровадження проєктів;

- відсутність застосування інструментів проєктного менеджменту під час реалізації проєктів.

74 українські громади взяли участь у дослідженні DiXi Group [29] щодо реалізованих проєктів із енергоефективності та залучених програм їхнього фінансування. Понад 90% громад мають практичний досвід впровадження проєктів із енергоефективності за останні 5 років. 46% громад вдалося залучити фінансування в розмірі від 1 до 20 млн грн, 28% опитаних громад – на суму понад 20 млн грн. Джерела отримання залучених коштів: місцевий бюджет, міжнародні донори (GIZ, USAID, НЕФКО, ЄБРР та ін.), державна субвенція. Хоча в більшості громад вже були впроваджені проєкти підвищення

енергоефективності (в основному за рахунок міжнародної технічної допомоги і грантів), проте опитування, проведене серед громад [29], показало, що при цьому громади стикаються із низкою проблем, які вже були перераховані вище (рис.1.3).



Рисунок 1.3 – Проблеми територіальних громад при залученні фінансування і впровадженні проєктів підвищення енергоефективності [29]

Водночас саме громади є ключовими осередками реалізації енергетичного переходу – через локальні програми утеплення будівель, модернізації інженерних систем, впровадження ВДЕ та розробки комбінованих схем роботи джерел енергії. Підвищення спроможності міст щодо участі у проєктах підвищення енергоефективності та досягнення кліматичної нейтральності можлива лише з урахуванням розвитку компетенцій фахівців територіальних громад. 90% громад підтвердили [29], що потребують підтримки в реалізації нових проєктів, а саме в таких питаннях:

- пошук й залучення фінансування;
- розробка техніко-економічного обґрунтування (ТЕО) та проєктної документації;

- навчання фахівців із енергоефективності й управління проектами, проектному менеджменту;
- експертного супроводу та технічної підтримки для впровадження систем енергоменеджменту.

1.2 Вимоги щодо енергоефективності у будівельному фонді

Закон України «Про енергетичну ефективність» [2] спрямований на посилення енергетичної безпеки, скорочення енергетичної бідності, сталий економічний розвиток, збереження первинних енергетичних ресурсів та скорочення викидів парникових газів. Основна ціль закону – стимулювання енергоефективності у всіх секторах економіки. Закон закладає фундамент для фінансування державних програм енергоефективності [2] і є ключовим кроком у реформуванні енергетичної галузі відповідно до вимог Європейського Союзу, зокрема Директиви 2012/27/ЄС, впровадженням енергоаудиту для будівель, процесів і транспорту (рис.1.4), широкому впровадженню систем енергоменеджменту, запровадженням національної системи моніторингу енергоефективності [24].



Рисунок 1.4 – Види енергетичних аудитів та законодавча база, що їх регулює
Джерело: матеріали тренінгу для енергоаудиторів будівель TEAD

Мінімальні вимоги до енергетичної ефективності будівель переглядаються не менше ніж один раз на п'ять років і залежать від: призначення будівлі; кількості поверхів; вид будівництва. В Україні розроблено збірку нормативних документів з енергоефективності, яка охоплює будівельні норми [8, 9], стандартів та настанов із випробування і розрахунку теплотехнічних показників [12, 30], прорахунку та аудиту енергоефективних будівель [4, 11, 18], проєктування інженерних систем [10] з урахуванням дотримання вимог мікроклімату [31].

Наведемо перелік ключових стандартів з енергетичного аудиту:

- ДСТУ ISO 50002:2016 Енергетичні аудити. Вимоги та настанова щодо їх проведення (ISO 50002:2014, IDT);

- ДСТУ ISO 50001:2020 Системи енергетичного менеджменту. Вимоги та настанова щодо використання (ISO 50001:2018, IDT);

- ДСТУ EN 16247-2:2015 Енергетичні аудити. Частина 2. Будівлі (EN 16247-2:2014, IDT);

- ДСТУ Б В.2.2-39:2016 Методи та етапи проведення енергетичного аудиту будівель;

- ДСТУ 9190:2022 Енергетична ефективність будівель. Метод розрахунку споживання енергії на опалення, охолодження, вентиляцію, освітлення та гарячого водопостачання та ін.

Фахівець, що займається питаннями енергоефективності, повинен мати сертифікат аудитора, який надається Кваліфікаційними центрами. В Україні прийнято професійний стандарт енергоаудитора будівель [1], яким визначаються вимоги щодо знань, умінь і навичок, які повинен мати фахівець.

Під час складання проєктної документації перевіряються деякі умови та проводяться перевірочні розрахунки. Опір теплопередачі зовнішніх огорожувальних конструкцій – це величина, що нормується. Згідно із ДБН В.2.6-31:2022 [9] територія України поділена на дві температурні зони, для яких наводиться значення допустимого опору теплопередачі для огорожувальних конструкцій житлових та громадських будинків.

Критерієм, за яким оцінюється енергетична ефективність житлових або громадських будівель в цілому чи їх відокремлених частин (за умови їх автономності) є виконання умови [32]:

$$EP_{use} \leq EP_p, \quad (1.1)$$

де EP_{use} – річне розрахункове значення загального показника питомого енергоспоживання будівлі при опаленні та охолодженні за [11];

EP_p – граничне значення питомого енергоспоживання: для житлових – у кВт·год/м²; для громадських – кВт·год/м³, обирається за [4].

При реконструкції, капітальному ремонті будівель в цілому або їх відокремлених частин мінімальною умовою є виконання умови:

$$EP_{use} \leq 1,2 \cdot EP_p. \quad (1.2)$$

Загальна послідовність розрахунків питомих показників енергоефективності та показника E_{use} за [11] наступна:

- трансмісійні та вентиляційні тепловтрати,
- теплонадходження від сонячної радіації та внутрішніх джерел;
- енергопотреба на опалення, охолодження, гаряче водопостачання, освітлення, зволоження та ін.;
- первинна енергія та маса викидів CO₂ (парникових газів);
- встановлений клас енергетичної ефективності будівлі.

Інші вимоги, що мають бути дотримані, стосуються [9, 32]:

- приведенного опору теплопередачі огорожень:

$$R_{\Sigma пр} \geq R_{qmin}, \quad (1.3)$$

- допустимої за санітарно-гігієнічними вимогами різниці температур:

$$\Delta\theta_{int-si} \leq \Delta\theta_{int-si,max}, \quad (1.4)$$

- мінімального значення температури внутрішньої поверхні в зонах теплопровідних включень:

$$\theta_{tb,si,min} > \theta_{si,min}, \quad (1.5)$$

де $R_{\Sigma пр}$ – приведений опір теплопередачі непрозорої огорожувальної конструкції чи непрозорої частини огорожувальної конструкції;

R_{qmin} – мінімально допустиме значення приведенного опору теплопередачі непрозорої огорожувальної конструкції чи непрозорої частини огорожувальної конструкції, мінімально допустиме значення приведенного опору теплопередачі світлопрозорої огорожувальної конструкції, $m^2 \cdot K/Wt$;

$\Delta\theta_{int-si}$ – різниця між температурою внутрішнього повітря і приведеною температурою внутрішньої поверхні огорожувальної конструкції за внутрішніми розмірами, $^{\circ}C$;

$\Delta\theta_{int-si,max}$ – допустима за санітарно-гігієнічними вимогами різниця між температурою внутрішнього повітря і приведеною температурою внутрішньої поверхні огорожувальної конструкції за внутрішніми розмірами, $^{\circ}C$;

$\theta_{si,tb,min}$ – мінімальне значення температури внутрішньої поверхні в зонах теплопровідних включень в огорожувальній конструкції, $^{\circ}C$;

$\theta_{si,min}$ – мінімально допустиме значення температури внутрішньої поверхні при розрахункових температурах внутрішнього й зовнішнього повітря, $^{\circ}C$ [9].

Для більш точного аналізу виконується також перевірка інших вимог огорожувальних конструкцій: теплостійкість; теплосасвоєння; вологісний стан; повітропроникність; паропроникність. За наявності в будівлі системи опалення з автоматичним регулюванням температури внутрішнього повітря теплостійкість приміщень в холодний період року не визначають [9]. Розрахунок на перевірку вимог теплостійкості огороження слід робити, якщо середньомісячна температура повітря найбільш жаркого місяця $21^{\circ}C$ та вище для стін, що мають теплову інерцію менше 4, і для покриттів з тепловою інерцією менше 5 [9].

Існують конструктивні заходи для забезпечення оптимального тепловологісного стану огорожувальних конструкцій [32]: розміщення шарів із вищим опором паропроникненню з боку внутрішніх приміщень, організація вентиляційних повітряних прошарків, пароізоляція в покриттях будівель, забезпечення вентиляції товщі покриття та ін.

При новому будівництві, реконструкції, що веде до зміни функціонального призначення будівлі, мінімальною вимогою щодо енергоефективності є клас С.

Граничні значення питомого енергоспоживання, граничні інтервали для визначення класу енергоефективності наведено у [4]. Використання відновлювальних і нетрадиційних джерел енергії не є доцільним в старих серійних будівлях, в яких теплотехнічні характеристики значно нижчі нормативних, а встановлене інженерне обладнання не є енергоефективним. Саме тому в нормативних документах йде взаємозв'язка класів енергоефективності будівлі, інженерних систем та обладнання, що споживає енергію [10, 18].

Умови, що впливають на комфортність перебування людей в приміщенні: температура (внутрішнього і зовнішнього повітря), вологість, пил, забрудненість повітря, швидкість руху повітря, шум та запах, електросмог (сукупність електромагнітних полей). Умови мікроклімату для окремих приміщень будівель різного призначення описано у відповідних будівельних нормах, а також у стандарті [31].

1.3 Вимоги до NZEB-будівель

За Законом України «Про енергетичну ефективність будівель» [3] визначено термін: будівля з близьким до нульового рівнем споживання енергії - будівля з рівнем енергетичної ефективності, що перевищує встановлені мінімальні вимоги, в якій для формування належних умов проживання та/або життєдіяльності людей використовується енергія із значною часткою енергії, виробленої з нетрадиційних і відновлюваних джерел енергії (НВДЕ).

В Україні було розроблено відповідні вимоги для визначення чи належить будівля до категорії NZEB (скорочення від англ. "nearly zero-energy building"). NZEB – симбіоз трьох складових: енергоефективна оболонка, інжиніринг (інженерні мережі та НВДЕ), автоматизація та управління [32].

9 серпня 2024 року відбувся круглий стіл “Вимоги до будівель NZEB в Україні”, організований за підтримки Європейської кліматичної фундації та ГО

«Опора» [20]. На даному засіданні було визначено обговорено і визначено вимоги до NZEB будівель, закріплені європейською Директивою про енергетичні характеристики будівель EU/31/201. Запровадження таких норм сприяє виконанню зобов'язань у межах асоціації з Європейським Союзом, підвищенню енергетичної незалежності країни, а також забезпечує відповідність сучасним принципам декарбонізації будівельного сектору, зеленого відновлення та боротьби зі зміною клімату. Крім того, це створює умови для відновлення зруйнованих об'єктів за принципом "build back better" - відбудови з покращенням енергоефективності та стійкості будівель [32]. Згідно із прийнятим у лютому 2025 року наказом [21] для NZEB будівель встановлено вимоги щодо:

- класу енергоефективності (нове будівництво – А, реконструкція -В);
- показника споживання первинної енергії;
- частки енергії, отриманої з відновлюваних джерел;
- теплотехнічних параметрів огорожувальних конструкцій та теплопровідних включень;
- рівня герметичності зовнішньої оболонки будівлі;
- наявності енергоефективних систем, таких як сонячні теплові чи фотогальванічні панелі, сонцезахисні пристрої, системи вентиляції з рекуперацією тепла;
- ефективності керування інженерними системами будівлі [5, 32].

Стратегія термомодернізації будівель, затверджена у грудні 2023р. передбачає з 2025 р. щорічну термомодернізацію 1% існуючих будівель та будівництво 100+ будівель за вимогами NZEB. З 2030 р. – щорічну термомодернізацію 3% існуючих будівель та повний перехід на будівництво за стандартом NZEB [32]. Національний план збільшення кількості будівель NZEB: з 31.12.2025 нові будівлі державної і комунальної власності повинні будуватися за стандартом NZEB, з 31.12.27 – всі нові будівлі NZEB. А з 2050р. передбачається декарбонізація 100% будівель (всі будівлі NZEB) [32]. Розроблено Державну цільова програму термомодернізації будівель [15].

Вимоги до будівель NZEB в Європі та в Україні дещо різняться, однак є все ж таки деякі спільні характеристики, а саме:

- нормуються параметри споживання первинної енергії, які можуть бути залежні від високоефективних інженерних систем або ж при використанні відновлюваних джерел енергії;

- вимоги до теплового опору оболонки будівлі.

Для будівель NZEB максимальні значення споживання первинної енергії для нового будівництва і реконструкції [21] є більш жорсткими у порівнянні із вимогами щодо енергоефективного будівництва [4]. В [21] наведено приклад розрахунок показника споживання первинної енергії з невідновлюваних джерел енергії та частки енергії, виробленої з відновлюваних джерел енергії. В додатку 4 наказу [21] наведено вимоги до значень приведенного опору теплопередачі для світлопрозорих огорожувальних конструкцій та лінійних коефіцієнтів теплопередачі теплопровідних включень. В додатку 5 наказу [21] наведено мінімальні значення площі пристроїв, які виробляють електричну та/або теплову енергію з енергії сонячного випромінювання.

Висновок до 1 розділу

У першому розділі магістерської дисертації проаналізовано теоретичні та нормативно-правові засади забезпечення енергоефективності будівель, а також сучасні підходи до проведення енергетичного аудиту. Розглянуто основні вимоги чинних нормативних документів України та міжнародних стандартів у сфері енергозбереження, які регламентують оцінювання енергетичних характеристик будівель та визначають критерії їх енергоефективності.

Встановлено, що ефективна реалізація заходів з енергомодернізації потребує комплексного підходу, який поєднує технічні рішення, економічне обґрунтування та сучасні механізми фінансування.

У розділі узагальнено наявний досвід залучення фінансових ресурсів для впровадження енергоефективних заходів, зокрема в межах державних програм

підтримки, діяльності Фонду енергоефективності, енергосервісних механізмів та міжнародних фінансових інструментів. Визначено, що застосування таких механізмів дозволяє зменшити фінансове навантаження на бюджети замовників і сприяє активнішому впровадженню енергоефективних проєктів у будівлях бюджетної сфери.

Окремо в розділі розглянуто концепцію проєктування будівель з майже нульовим та нульовим рівнем споживання енергії, яка є одним із стратегічних напрямів розвитку будівельної галузі відповідно до європейських підходів та сучасних нормативних вимог. Встановлено, що досягнення нульового рівня енергоспоживання можливе лише за умови поєднання високого рівня енергоефективності огорожувальних конструкцій, ефективних інженерних систем та використання відновлюваних джерел енергії. Для адміністративних будівель дана концепція має перспективне значення та може бути реалізована поетапно з урахуванням технічних і економічних обмежень.

РОЗДІЛ 2 ПРОЄКТИ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ: ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ АСПЕКТИ

2.1 Методи залучення фінансування і програми підтримки заходів підвищення енергоефективності

В Україні є позитивний досвід залучення коштів для реалізації заходів в багатоквартирних і приватних будівлях. Зокрема, завдяки програмі державної підтримки енергоефективності «Теплі кредити», що реалізовувалася ДАЕЕ (2014-2020 р.р.), здійснювалася часткова компенсація відсотків і тіла кредиту, що надавалися державними банками на придбання енергоощадних матеріалів і також обладнання, при цьому держава відшкодовувала від 20% до 70% вартості реалізованих заходів. Широку підтримку і довіру населення (понад 30 тисяч українських домогосподарств) отримала програма IQ energy (2016-2020 р.р.) [22], що реалізовувалася в Україні за допомогою Європейського банку реконструкції та розвитку і передбачала поєднання банківського кредитування з грантовою компенсацією [12]. Це одна з найбільш масштабних міжнародних програм у сфері енергоефективності в Україні. Набутий досвід дозволив поширити практики залучення інвестицій для житлового сектору і є передумовою розвитку програм підтримки від Фонду енергоефективності.

На сьогодні в Україні існують різні джерела фінансування для підтримки енергоефективності в будівельному фонді, перерахуємо деякі з них нижче.

1) Програми для приватних домогосподарств.

Для стимулювання енергонезалежності приватного сектору передбачено пільгові кредити під 0 % до 10 років на придбання генеруючих установок електроенергії з альтернативних джерел (СЕС, вітрові турбіни, теплові насоси).

2) Кредитна програма «5-7-9%» - державна програма, яка дозволить ОСББ, будівельним кооперативам та бізнесу отримувати пільгові кредити на купівлю енергоефективного обладнання. Досвід впровадження «5-7-9%»

показав, що державні кредитні програми можуть бути гнучко адаптовані під нові потреби ринку та сприяти зростанню інвестицій у сфері енергетики.

3) Програми Фонду енергоефективності [16].

4) Програма «Енергоефективність громадських будівель в Україні»

Спрямована на модернізацію шкіл, лікарень, дитсадків, адміністративних будівель. Передбачає гранти на утеплення, оновлення систем опалення, вентиляції, освітлення, модернізацію індивідуальних теплових пунктів.

5) Грантові та інвестиційні програми підтримки міжнародних фінансових організацій для територіальних громад. Переваги: не потрібно повертати, супровід експертів, навчання фахівців груп впровадження проєктів, інституційний розвиток команди та організації. Обмеження/виклики: висока конкуренція, адміністративні обмеження, жорсткі вимоги до отримувачів, міжнародні правила закупівель, звітність англійською мовою, міжнародна експертиза і додаткові перевірки.

6) ЕСКО-контракти для територіальних громад.

7) Міжнародна технічна допомога для громад.

8) Кредити міжнародних фінансових організацій. Переваги: довгий термін погашення (до 30 років), довгий пільговий період (до 10 років), технічна допомога, грантові компоненти, розширення фінансових можливостей для громад, низькі реальні відсоткові ставки (до 6% у валюті). Але громади не охоче отримують валютні кредити, бо не мають досвіду роботи.

9) Кредити комерційних банків для громад.

10) Державно-приватне партнерство з громадами та організаціями.

11) Міжмуніципальне співробітництво.

12) Фінансовий лізинг.

13) Фінансування на поточні видатки (планові статті витрат) та бюджет розвитку громади.

14) Приватні інвестиції.

Якщо зважати на статистику витрат, то потреба в інвестиціях на енергомодернізацію житлового фонду є співрозмірна із річним бюджетом

країни. Зважаючи на військову агресію Росії, очікувати від влади вирішення питань в ЖКГ найближчими часами не варто. Альтернативою є можливість залучення інвестицій від ФЕЕ за різними програмами підтримки для житлових будівель; у таблиці 2.1 міститься порівняльний аналіз таких програм.

Таблиця 2.1 – Програми фонду енергоефективності [16, 17,33]

Енергодім – з 2019 року		ВідновиДім – з 2022 року	ГрінДім – з 2024 року, але з березня 2025 р. призупинено
ОСББ		ОСББ	ОСББ, ЖБК
Заходи щодо конструкцій, інженерних мереж, обліку		Заміна пошкоджених вікон, дверей, ремонт фасадів, покриття, ремонт дахових котелень та інженерних мереж	Тепловий насос, сонячна електростанція, а саме обладнання та енергосертифікат
Пакет А	Пакет Б		
Компенсація витрат: Роботи, обладнання, матеріали – 40-50% Енергоаудит, проект – 70%		100% на матеріали і роботи двома траншами:70/30 Обмеження: 10 млн на один будинок	Граничний розмір гранту за проектом: Тепловий насос – 3000000 грн; СЕС – 2000000 грн.

Перед фінансуванням будівельно-монтажних робіт Фондом енергоефективності здійснюється верифікація проекту з виїздом на місце розташування будівлі. Перевіряється [16]:

- відповідність обсягів проведених робіт затвердженій проектній документації,
- тип застосованого обладнання та матеріалів;
- видимі дефекти, здуття, тріщини,
- улаштування відкосів, відливів, парапетів, у
- лаштування ізоляції в місцях проходження труб через огороження;

- в зимовий період застосовується тепловізор.

Під час здійснення верифікації відбувається:

- фотофіксація об'єкту та окремих його елементів на всіх етапах виконання робіт;

- звіряється по ходу виконання робіт з технологічними картами виробників та рекомендаціями ФЕЕ,

- перевіряється правильність ведення журналу авторського нагляду та журналу виконання робіт.

До Фонду енергоефективності [16] надійшло близько 1 265 заяв по програмі термомодернізації «Енергодім», з якої було повністю або частково виконано проекти для 1 164 проектів. На сьогоднішній день заявлена вартість проектів за програмою Енергодім склала 6,2 млрд гривень. Це дозволить понад 870 тисяч сім'ям отримати енергоощадне житло. Важливу ролі відіграють саме ОСББ, які є прикладами змін на місцевому рівні для інших. По програмі «Віднови дім» у Київській області вже відновлено понад 75% житлового фонду, де з 30 тисяч будівель було відновлено вже 22 тисячі.

У таблиці 2.2 міститься інформація по всім трьом програмам Фонду енергоефективності [16].

Таблиця 2.2 – Зведена спрощена інформація результатів програм [34]

Програма	Енергодім	ВідновиДім	ГрінДІМ
Всього подано заявок, од.	1 265	1 397	188
Кількість домогосподарств, од.	81 634	126 533	31 841
Сумарна опалювальна площа, млн м ²	5,52	7,996	2,774
Середній рівень економії, %	24,05	~35*	~45*
Заявлена вартість, млн грн	6 182,4	2 650,6	262,9

* оціночні значення за характером заходів та результатами аналогічних проектів.

Рисунки 2.1-2.2 наглядно показують різницю між заявленими даними та результати після завершення проєкту.

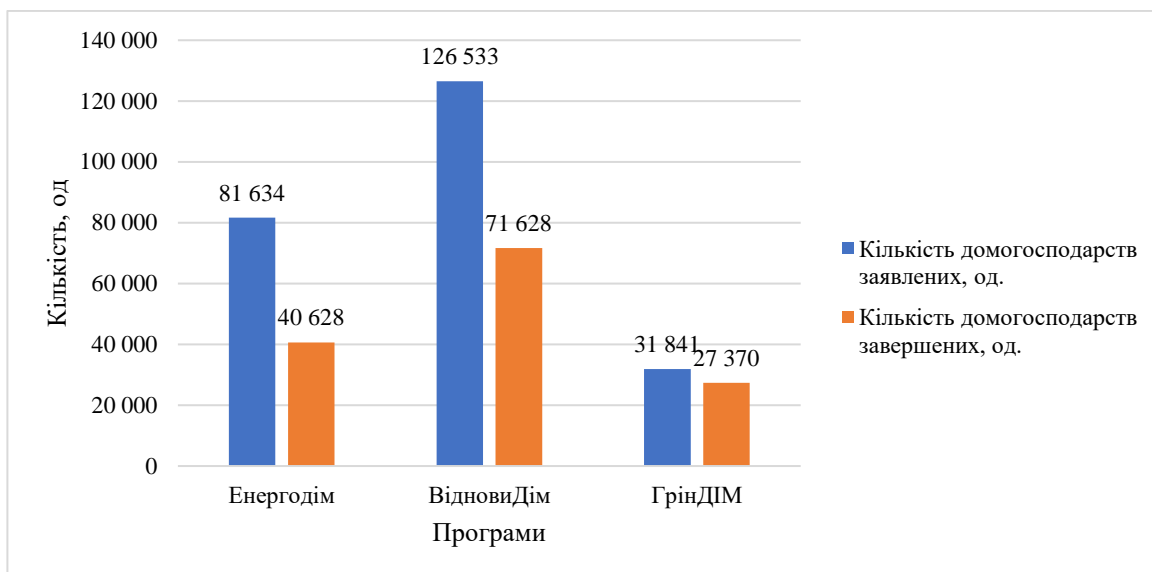


Рисунок 2.1 – Кількість домогосподарств

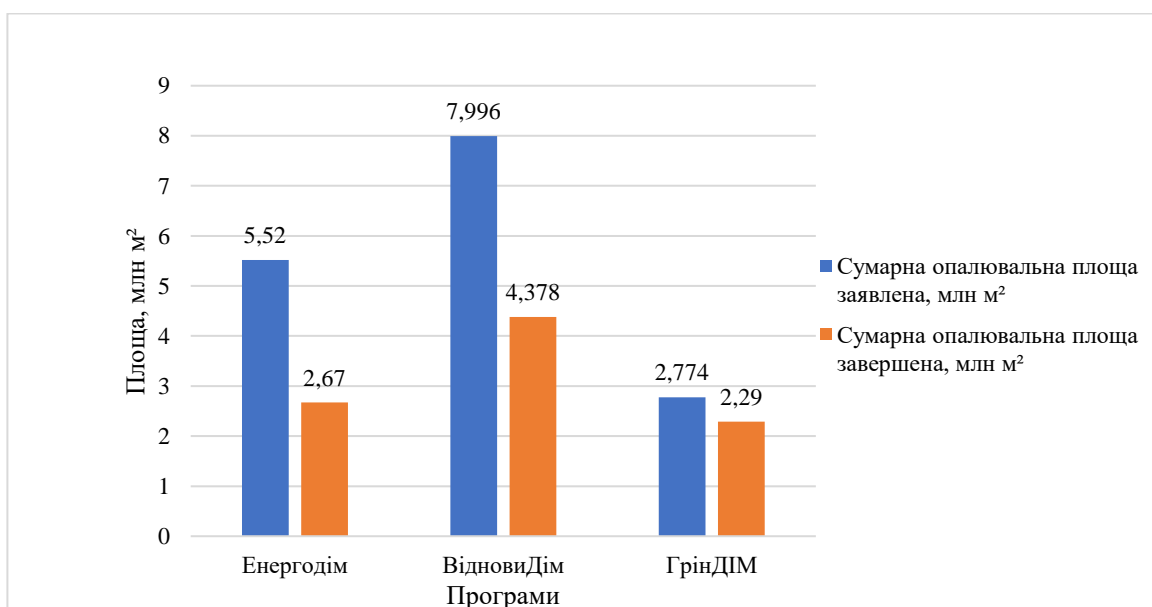


Рисунок 2.2 – Сумарна опалювальна площа

Програма «ВідновиДім» характеризується **найбільшим масштабом охоплення** — понад **126 тис. домогосподарств** та майже **8 млн м² опалювальної площі**. Основна мета програми — **швидке відновлення та підвищення енергоефективності житлового фонду**, у тому числі в постраждалих регіонах.

Програма має **високий соціальний ефект**, хоча питомі показники економії можуть варіювати залежно від типу будівель.

Якщо порівнювати програми у відсотковому значенні заявлених до завершених проєктів, отримаємо таблицю 2.3.

Таблиця 2.3 – Відсоткове порівняння програм

Програма	Кількість домогосподарств, %	Сумарна опалювальна площа, %
Енергодім	49,77%	48,37%
ВідновиДім	56,61%	54,75%
ГрінДІМ	85,96%	82,55%

Тож програма ГрінДім на даний момент є найбільш продуктивною у відсотковому порівнянні. Пов'язано це найбільше з тим, що вона найновіша.

Це зумовлено:

- орієнтацією на енергоефективні та «зелені» рішення;
- застосуванням сучасних інженерних технологій;
- високими вимогами до проєктів.

Програма може розглядатися як еталонна з точки зору питомої ефективності, хоча її загальний внесок у національний баланс енергоспоживання є меншим.

На рисунку 2.3 наведена заявлена річна економія енергії та кумулятивна після завершення проєктів за програмою ЕнергоДім.

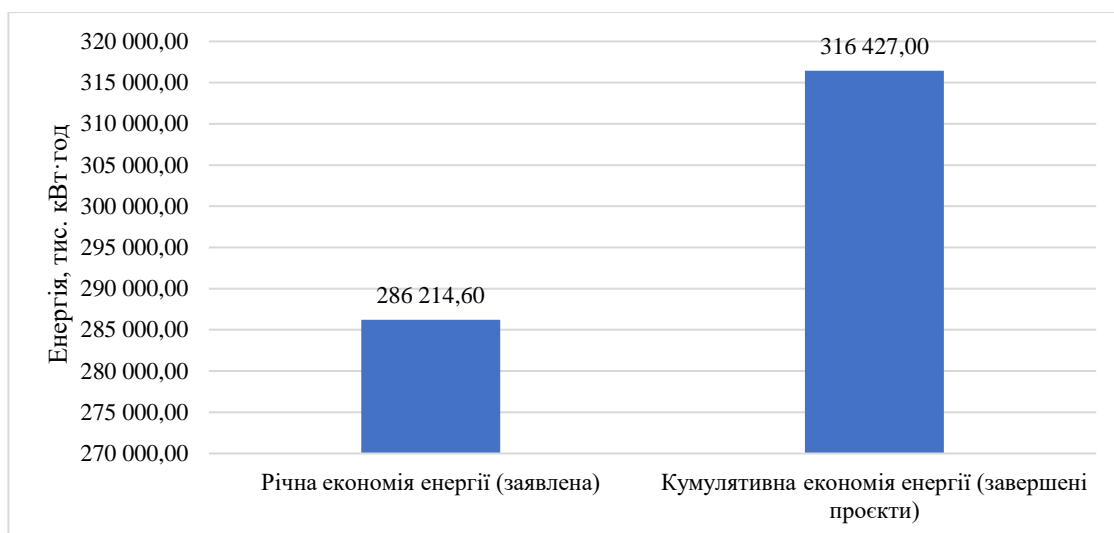


Рисунок 2.3 – Економія енергії

Питома економія енергії на 1 м² опалювальної площі (завершені проекти) розраховується за формулою:

$$\frac{316427000}{2670224} = 118,5 \frac{\text{кВт}\cdot\text{год}}{\text{м}^2}.$$

Це означає, що в середньому після впровадження заходів у межах програми «Енергодім» досягається **зниження річного споживання енергії приблизно на 118–120 кВт·год на кожен м² опалювальної площі.**

Якщо прийняти типовий рівень споживання багатоквартирних будинків до модернізації \approx **180–200 кВт·год/м²·рік**, то фактична економія відповідає **20–30 %**, що узгоджується із задекларованим середнім показником **24,05 %**.

Завдяки наданій підтримці від країн- членів ЄС та інших партнерів сфера енергетичної незалежності та «зеленої» відбудови України прискорюється.

В рамках дослідження, що проводилося DiXi Group в 74 територіальних громадах України, визначено, що крім коштів місцевого бюджету, близько 70 % описуваних громад отримували кошти міжнародної підтримки або грантові кошти, а кошти за ЕСКО-механізмом залучені всього в 20% громад (була можливість обирати декілька відповідей), дис.рис.2.4.

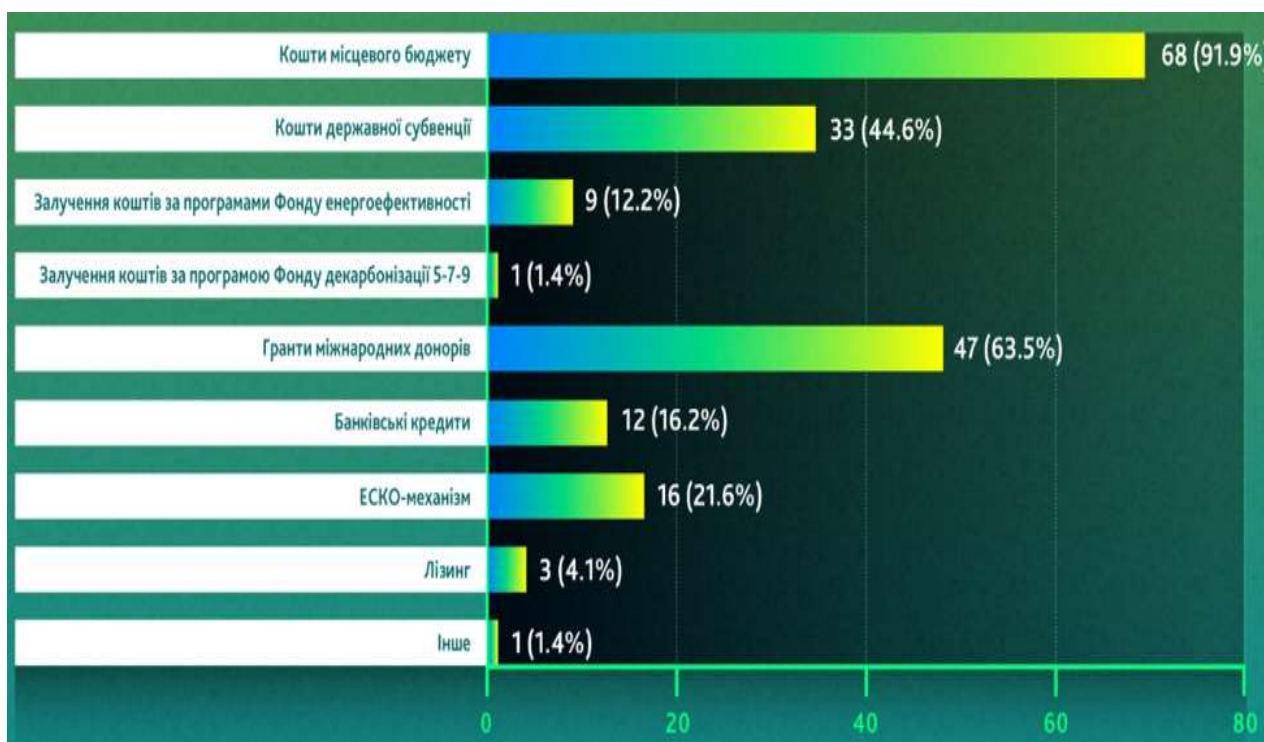


Рисунок 2.4 – Фінансування проєктів підвищення енергоефективності [29]

Серед проблем, які мали громади при впровадженні проєктів підвищення енергоефективності, фахівці вказували наступні причини: відсутність проєктної документації, брак кваліфікованих кадрів та відсутність досвіду (рис.2.5).



Рисунок 2.5 – Проблеми територіальних громад при впровадженні проєктів підвищення енергоефективності [29]

Фонд декарбонізації [19] був створений насамперед з метою надання державної підтримки проектам пов'язаним з підвищенням енергоефективності, розвитку ВДЕ, термомодернізації та заміни застарілих енергетичних систем. Також окрему увагу даний фонд приділяє саме зменшенню викидів парникових газів. Фонд працює з територіальними громадами, підприємствами і організаціями. У таблиці 2.2 наведено умови роботи.

Таблиця 2.2 – Порівняння умови роботи Фонду декарбонізації

	Умови кредитування	Умови фінансового лізунгу	Умови факторингу енергосервісних договорів
Ставка	Від 5% до 9% річних. На 2% менша при умові використання обладнання нац. виробництва >70% Комісія одноразова 0,5-2%	Від 4% до 8% Фіксована на весь строк дії договору Комісія: одноразова 0,5-1,5%, щомісячна 0,01%.	До 7% Фіксована на весь строк дії договору
Сума	До 90 млн грн. Мінімальна сума – 120 тис. грн. Власний внесок від 15%	До 90 млн грн. Мінімальна сума – 100 тис. грн Авансовий внесок >15%	До 25 млн грн. Мінімальна сума – 100 тис. грн
Строк	До 10 років Мінімально – 1 рік Відстрочка платежу до 12 місяців	До 7 років Мінімально – 1 рік Можливий довгостроковий викуп	До 3 років Мінімально – 1 рік Можливий довгострокове закриття
Кандидати на державну підтримку	Юридичні особи; Фізичні; Органи місцевого самоврядування.	Юридичні особи; ОСББ, МЖК; Фізичні; Органи місцевого самоврядування.	Юридичні особи; Фізичні, в рамках діючих енергосервісних договорів

Згідно з презентацією, розміщеною на сайті ФДУ, загальна кількість проектів, які були профінансовані за 2025 рік склала 46.

За типами проєктів було виконано роботи у таких сферах:

- відновлювані джерела енергії – 27;
- енергоефективне виробництво – 1;
- ЕСКО – 27;
- когенерація на АВП – 6; когенерація – 1;
- термомодернізація – 1 штука.

Найбільша кількість проєктів було виконано у Дніпровській, Київській, Львівській, Одеській та Тернопільській областях. Загально за рік було надано кредитів на суму близько 876 тис. грн.

За останні роки в Україні було реалізовано значну кількість проєктів за ЕСКО-договорами, наприклад проєкти, де встановлення сонячних електростанцій поєднано з модернізацією комунальних і соціальних об'єктів. Наприклад, невелика СЕС потужністю 144 кВт була інстальована на даху лікарні в місті Дрогобич, що дозволить економити на електроенергії приблизно 1 мільйон гривень щороку, і це без витрат з міського бюджету, адже витрати взяла на себе ЕСКО-компанія. Через механізм ЕСКО впроваджено енергоефективні проєкти у медичних закладах, школах та інших бюджетних установах, що дозволяє не просто зменшити рахунки за енергоспоживання, але й підвищити енергетичну безпеку (особливо актуально під час криз, відключень та навантаження на енергосистему).

2.2 Методологічні засади розрахунку показників ефективності енергоспоживання будівель

Для розрахунку показників енергоефективності під час проєктування, ремонту, реконструкції та загалом з метою термомодернізування використовується стандарт ДСТУ 9190:2022 [11]. Дана методика враховує увесь спектр інформації про будівлю, її місце знаходження, кліматичні умови, аналіз тепловтрат та теплонадходжень, ефективність інженерних систем та генеруючого обладнання. Загалом основні показники енергетичних втрат

визначаються через теплопередачу огорожувальних конструкцій. Зазвичай найбільші втрати йдуть через стіни та дах, якщо будівля обладнана старими дерев'яними вікнами спостерігаються великі втрати тепла.

На початку розрахунку необхідно визначити загальні характеристики будівлі, а саме: об'єм, площа, дані за опалюваний сезон, кліматичні умови та врахувати розташування об'єкта. Розрахункова модель враховує не лише площі та огороження, але й вплив орієнтації фасадів, наявність на них світлопрозорих конструкцій, пропускання сонячної радіації, елементи затінювання, інфільтрацію та вентиляційні потоки, теплову інерцію будівель, попередній нагрів, ефективність роботи енергоємного обладнання, систем вентиляції, охолодження, гарячого водопостачання та освітлення. Одним із ключових процесів у методиці є формування енергетичного балансу, який має відобразити усі надходження та втрати теплової енергії протягом року.

Алгоритм методики розрахунку за ДСТУ 9190:2022 наведена на рис.2.6.

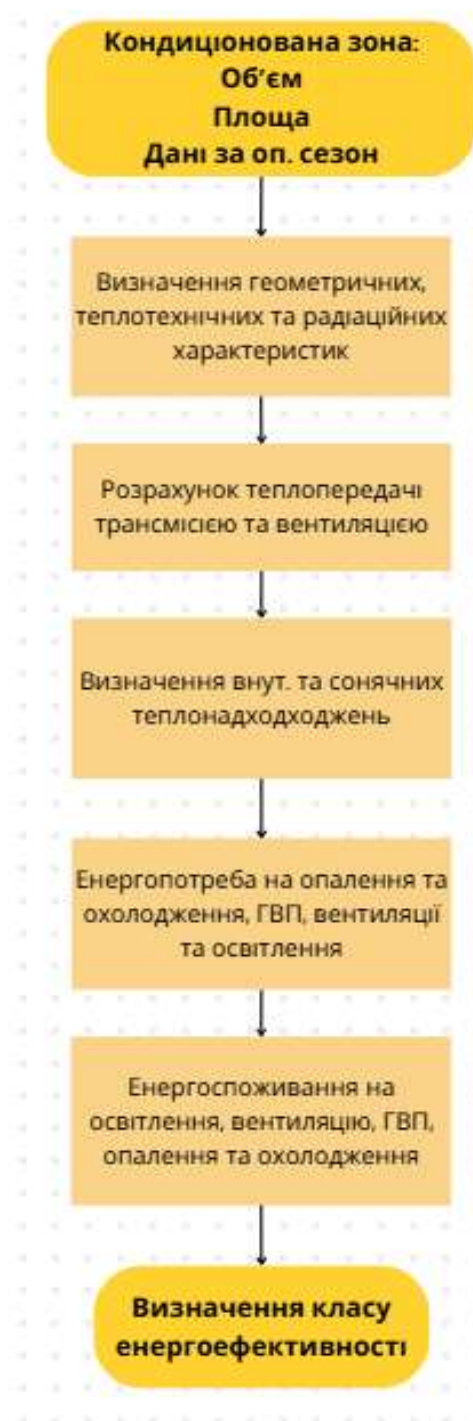


Рисунок 2.6 – Загальна послідовність методики розрахунку

Розрахунок не обмежується лише констатацією тепловтрат, а враховує весь комплекс факторів, що впливають на кінцеву потребу в енергії: від мікрокліматичних параметрів і поведінкових характеристик користувачів до ефективності інженерних систем та сезонних кліматичних коливань, враховує теплові надходження від сонячної радіації, внутрішніх джерел (людей, обладнання, освітлення), а також враховує роботу системи вентиляції з

рекуперацією. Результатом енергетичного балансу стає визначення енергоспоживання будівлі, а також річної потреби будівлі у вигляді первинної енергії для опалення, охолодження, вентиляції, гарячого водопостачання й освітлення. ДСТУ 9190:2022 дозволяє врахувати вплив джерела енергії на загальні екологічні та енергетичні показники будівлі. Це означає клас енергоефективності будівлі буде залежити від того, чи використовується електроенергія, природний газ, централізоване тепlopостачання або відновлювані джерела. Завершальним етапом методики є встановлення класу енергетичної ефективності будівлі. У цьому процесі отримані розрахункові показники зіставляються з еталонними значеннями для відповідного типу будівлі. Особливістю цього стандарту є те, що він повністю узгоджений із сучасною європейською системою, що дозволяє інтегрувати українську методику у загальноєвропейський підхід до енергоефективності, забезпечивши порівнянність результатів і можливість залучення інвестицій у сферу енергомодернізації. Результати розрахунків первинної енергії, отримані на основі цього стандарту, можуть бути використані не лише у національних програмах підтримки, але й у міжнародних проектах, де потрібні уніфіковані методи оцінювання. Методика дозволяє також прогнозувати економічний та екологічний ефект від модернізації обладнання і мереж, застосування тих чи інших технічних рішень щодо огорожувальних конструкцій, комбінації джерел тепlopостачання та застосування сучасних технологій і систем автоматизації.

Наведемо деякі розрахункові залежності з методики ДСТУ 9190:2022 [11] та методики визначення енергетичної ефективності будівель [6, 7], що використовувалися в подальшому під час виконання розрахунків, які наведені для адміністративної будівлі в розділі 3.

Сумарна теплопередача трансмісією для режиму опалення Q_{tr} , Вт·год, визначається для кожного місяця за формулою (2.1) [11]:

$$Q_{tr} = H_{tr,adj} \cdot (\theta_{int,set,H} - \theta_e) \cdot t, \quad (2.1)$$

де $\theta_{int,set,H}$ – внутрішня температура в будівлі в опалювальний період, °С;

θ_e – середньомісячна температура зовнішнього середовища, °С;

t – тривалість місяцю, для якого проводиться розрахунок, год;

$H_{tr,adj}$ – загальний коефіцієнт теплопередачі трансмісією, Вт/К:

$$H_{tr,adj} = H_D + H_G + H_u + H_A, \quad (2.2)$$

де H_u – узагальнений коефіцієнт теплопередачі трансмісією через некондиціоновані об'єми, Вт/К;

H_A – узагальнений коефіцієнт теплопередачі трансмісією до суміжних будівель, Вт/К;

H_D – узагальнений коефіцієнт теплопередачі трансмісією до зовнішнього середовища Вт/К:

$$H_D = b_{tr,x} \sum_{i=1}^n A_i U_i, \quad \text{де } U_i = \frac{1}{R_{\Sigma np}}, \quad (2.3)$$

де $b_{tr,x}$ – поправочний коефіцієнт;

H_G – стаціонарний узагальнений коефіцієнт теплопередачі трансмісією до ґрунту, Вт/К.

Сумарна теплопередача вентиляцією Q_{ve} , Вт·год, визначається для кожного місяця за формулою [11]:

$$Q_{ve} = H_{ve,adj} \cdot (\theta_{int,set,H} - \theta_e) \cdot t, \quad (2.4)$$

де t – тривалість місяцю, для якого проводиться розрахунок, год;

$H_{ve,adj}$ – загальний коефіцієнт теплопередачі вентиляцією, Вт/К, що розраховується наступним чином:

$$H_{ve,adj} = \rho_a \cdot c_a (q_{ve,mn,H} \cdot b_{ve,H} + q_{inf,mn,H}), \quad (2.5)$$

де $\rho_a \cdot c_a$ – теплоємність повітря одиниці об'єму;

$b_{ve,H}$ – температурний поправочний коефіцієнт, що корегує коефіцієнт теплопередачі вентиляцією коли температура припливного повітря не дорівнює температурі зовнішнього середовища; при відсутності утилізації $b_{ve,H} = 1$;

$q_{ve,mn,H}$ – усереднена за часом витрата повітря для вентиляції, м³/год.

Сумарна теплопередача для кожної зони будівлі, кВт·год [11]:

$$Q_{ht} = Q_{tr} + Q_{ve}. \quad (2.6)$$

Сумарна енергопотреба на опалення [11]:

$$Q_{H,nd} = Q_{H,ht} - \eta_{H,gn} Q_{H,gn} - Q_{ve,pre-heat}, \quad (2.7)$$

де $Q_{H,ht}$ – сумарна теплопередача в режимі опалення, кВт·год;

$\eta_{H,gn}$ – безрозмірний коефіцієнт використання надходжень;

$Q_{H,gn}$ – сумарні теплонадходження в режимі опалення, кВт·год;

$Q_{ve,pre-heat} = 0$ – попередній нагрів в розрахунках не враховуємо.

Теплонадходження від внутрішніх теплових джерел у будівлі, що розглядається, кВт·год, для визначеного місяця розраховують за формулою [11]:

$$Q_{int} = \left(\sum_k \Phi_{int,mn,k} \cdot A_f \right) \cdot t \cdot 10^{-3}, \quad (2.8)$$

де $\sum_k \Phi_{int,mn,k}$ - усереднений за часом тепловий потік від k-го внутрішнього джерела, що включає теплонадходження від людей, освітлення та обладнання, Вт/м²;

A_f – опалювальна площа будівлі, м²;

t – тривалість періоду використання, год/місяць.

Розрахункові параметри мікроклімату для зимового та літнього режиму житлових і громадських будівель наведено в стандарті ДСТУ 9190:2022. При виборі обладнання та характеристик інженерних систем для окремих приміщень будівель параметри мікроклімату обираються за будівельними нормами відповідно до призначення будівель, для проектування та оцінки енергетичних характеристик будівель – за гармонізованим стандартом [31].

Опір теплопередачі термічно неоднорідної огорожувальної конструкції є нормованою величиною під час розробки проектів будівництва і визначається за наступною залежністю [12]:

$$R_{\Sigma пр} = \frac{A_{\Sigma}}{\sum_i \left(\frac{A_i}{R_{\Sigma i}} \right) + \sum_m (I_m \cdot \Psi_m) + \sum_i (N_i \cdot \chi_i)}, \quad (2.9)$$

де A_{Σ} – загальна площа огорожувальної конструкції, обчислена за внутрішнім виміром із додаванням площ внутрішніх укосів прорізів та відніманням площ прорізів, м²;

A_i – площа і-ої термічно однорідної частини непрозорої конструкції, м²;

Ψ_m – лінійний коефіцієнт теплопередачі m-го лінійного теплопровідного включення (враховують теплопровідні включення, Вт/(м · К);

l_m – лінійний розмір (проекція) m-го лінійного теплопровідного включення, м;

χ_j – точковий коефіцієнт теплопередачі j-го точкового теплопровідного включення, Вт/К, розраховують за тримірним температурним полем або приймають згідно з додатком ДСТУ 9191 [12];

N_j – загальна кількість j-их точкових теплопровідних включень, що розташовані на загальній площі огорожувальної конструкції без урахування площ внутрішніх укосів прорізів, шт;

$R_{\Sigma i}$ – опір теплопередачі і-ої термічно однорідної частини конструкції, м²·К/Вт, визначаю за формулою:

$$R_{\Sigma} = \frac{1}{h_{si}} + \sum_{i=1}^n R_i + \frac{1}{h_{se}} = \frac{1}{h_{si}} + \sum_{i=1}^k \frac{d_i}{\lambda_i} + \frac{1}{h_{se}}, \quad (2.10)$$

де h_{si} , h_{se} – коефіцієнти тепловіддачі внутрішньої і зовнішньої поверхонь огорожувальної конструкції, Вт/(м²·К);

R_i – тепловий опір і-го шару конструкції, (м²·К)/Вт;

d_i – товщина і-го шару конструкції, м.

λ_i – теплопровідність матеріалу і-го шару конструкції в розрахункових умовах експлуатації (параметри Б), [Вт/(м·К)];

k – кількість шарів огорожувальної конструкції.

2.3 Огляд програмного забезпечення в сфері енергоаудиту та енергоефективного будівництва

Сфера енергоаудиту, енергетичного моделювання та проектування енергоефективних будівель використовують широкий спектр спеціалізованого програмного забезпечення, за допомогою якого отримується можливість оцінювання теплотехнічних характеристик будівель, моделювання роботи

інженерних систем, а також можна проаналізувати ефективність заходів по модернізації будівлі. Нижче перераховано та надано коротку інформацію ключового програмного забезпечення, яке активно використовується у різних енергетичних напрямках.

1) Програмне забезпечення для енергоаудиту, енергетичного моделювання та нового будівництва

1. **RETScreen Expert** – програма дозволяє комплексно оцінювати та оптимізувати технічну або фінансову частину проєкту з відновлювальної енергії та енергоефективності, заснована у 2016 році урядом Канади [35]. RETScreen Expert має доступ до бази кліматичних даних, бази обладнання, вартості, порівняльних показників та іншої частини глобальних баз. Широко використовується для попереднього обґрунтування інвестицій та формування пакету документів для грантів, кредитних програм.

2. **DesignBuilder**– це програма для графічного моделювання. Завдяки ній можливо оцінити динаміку внутрішнього мікроклімату, вентиляційні потоки, а також проаналізувати роботу інженерних систем. DesignBuilder є популярним інструментом як серед енергоаудиторів, так і в проєктуванні. Дане програмне забезпечення (ПЗ) дозволяє отримати широкий спектр результатів та звітів, оптимізувати будівлю на будь-якому етапі проєктування, імпортувати існуючі дані проєктування інженерних систем і систем автоматизації, а також спростити моделювання в EnergyPlus.

DesignBuilder складається з 4 пакетів та 11 модулів [36]. Пакети:

- для енергетичних оцінювачів - даний пакет дозволяє надавати енергоефективні сертифікати та звіти у найкоротший час.
- для архітекторів – дозволяє здійснити швидке та зручне моделювання, надає дані про енергоспоживання, умови комфортності, вартість та природне освітлення.

- для інженерів – використовується для вибору проєктних рішень, що оптимізують енергоефективність, комфорт та вартість наданого проєкту.

- для освіти – це ПЗ широко використовуються різними школами та університетами, оскільки в зручному інтерфейсу студенти можуть досить швидко опанувати вміння моделювання та проєктування.

Модулі: візуалізація; сертифікація; моделювання; 3D-моделер; природне освітлення; вартість; HVAC; ASHRAE 90.1 та LEED; оптимізація; сценарії; CFD.

2. **EnergyPlus** - є міжнародним стандартом для динамічної симуляції енергетичних процесів у будівлях. EnergyPlus дозволяє врахувати складні теплові взаємодії, щогодинні кліматичні коливання, роботу інженерних систем, вплив режимів експлуатації та поведінку користувачів [37].

Інтерфейс **OpenStudio** значно спрощує роботу з EnergyPlus, адже надає графічні засоби побудови моделей та інструменти для автоматизації розрахунків. Така пара програм особливо корисна, коли необхідно отримати науково обґрунтовані результати, наприклад, для кластерного аналізу груп будівель, оптимізації сценаріїв модернізації або розрахунку класу енергоефективності.

3. **IES Virtual Environment (IES VE)** - комплексне середовище, яке дозволяє моделювати енергетику, денне освітлення, вентиляцію, рух повітря (через CFD-модулі) та оцінювати комфорт у приміщеннях. Завдяки глибокій інтеграції зі стандартами LEED і BREEAM це ПЗ часто використовується для проєктів «зелених» будівель, а також для досліджень, де важливо врахувати взаємодію між архітектурою, інженерією та експлуатацією [38].

4. **Autodesk Insight** - працює у зв'язці з **Revit**. Insight дозволяє аналізувати енергетичну ефективність безпосередньо з BIM-моделі, оцінювати вплив матеріалів, орієнтації та геометрії будівлі. Це дає можливість приймати оптимальні рішення ще на стадії ескізного проєкту. Сам **Revit** також відіграє важливу роль у сучасному енергоефективному будівництві, оскільки BIM-модель стає основою для розрахунків, аналітики та інтеграції з інструментами симуляції [39].

5. Програма **E-Audit** є сучасним інструментом для проведення енергетичного аудиту будівель і розроблена спеціально для автоматизації процесу розрахунку показників енергетичної ефективності, враховуючи діючі національні нормативи та стандарти [40]. Є безкоштовною і широко використовується енергетичними аудиторами в Україні.

6. **Auditor OZC** — програма, створена для розрахунків тепловтрат і теплового балансу будівель. Вона дозволяє аналізувати системи опалення та вентиляції відповідно до європейських стандартів. Проводить деталізоване моделювання енергетичних характеристик за окремими зонами та приміщеннями будівлі. Особливості: можливість створення 3D моделі будівлі для більш точних розрахунків, розрахунки втрат через огорожувальні конструкції; інтеграція з іншими системами через експорт даних.

2) Програмне забезпечення для моделювання та проєктування інженерних систем

1. **HAP (Hourly Analysis Program)**, який дозволяє виконувати детальний аналіз теплових і холодних навантажень з урахуванням щогодинних кліматичних змін. HAP широко застосовується у практичних інженерних бюро для підбору обладнання, визначення експлуатаційних витрат і оцінювання сезонної ефективності систем. Ця програма особливо цінна там, де необхідно забезпечити точність розрахунків відповідно до виробничих каталогів HVAC-обладнання.

2. **TRNSYS** - дозволяє моделювати складні комбіновані енергетичні системи: теплові насоси, сонячні колектори, акумуляційні ємності, геліосистеми та будівлі як елемент енергетичного балансу. TRNSYS часто використовується для науково-дослідних проєктів, оскільки має модульну структуру й дозволяє створювати взаємопов'язані моделі систем будь-якої складності, що особливо актуально для аналізу ВДЕ та гібридних енергетичних рішень [41].

3. **ESPr** - поєднує моделювання будівлі з аналізом роботи інженерних систем. Завдяки можливості враховувати фізичні параметри матеріалів огорожувальних конструкцій, різних типів мереж і обладнання забезпечує точні результати навіть для будівель складних архітектурних форм.

4. Інше спеціалізоване програмне забезпечення від компаній-виробників обладнання: KAN CO, HERZ CO та ін.

3) Програмне забезпечення для моделювання сонячних електростанцій (СЕС)

1. **PVsyst**– дане програмне забезпечення створене для проектування та моделювання фотоелектричних систем. Ця програма дозволяє моделювати продуктивність СЕС у будь-якому кліматичному середовищі, враховуючи типи панелей, інверторів, затінення, орієнтацію модулів та втрати в системі. PVsyst широко використовується у проєктах комерційних і промислових СЕС, а також у дослідницьких роботах, де необхідно оцінити річну генерацію та економічні ефекти від інвестицій [42].

2. **SAM – System Advisor Model** - програмне забезпечення для моделювання та оцінки проєктів у сфері відновлюваної енергетики, розроблене Національною лабораторією відновлюваної енергетики США (NREL). Програма поєднує технічне моделювання енергетичних систем із фінансово-економічним аналізом, що дозволяє оцінювати не лише обсяги виробництва енергії, а й економічну доцільність реалізації проєктів. SAM широко застосовується для аналізу сонячних електростанцій, зокрема фотоелектричних систем, із урахуванням кліматичних умов, характеристик обладнання, втрат та режимів експлуатації. Отримані результати трансформуються у ключові фінансові показники, такі як строк окупності та рівень собівартості електроенергії, що робить програму корисною для техніко-економічного обґрунтування проєктів. Завдяки відкритій методології та науковій верифікованості SAM є поширеним інструментом у дослідницьких і аналітичних роботах.

Висновок до 2 розділу

В даному розділі було проаналізовано основні механізми залучення фінансування для реалізації проєктів з підвищення енергоефективності, зокрема державні програми, інструменти Фонду енергоефективності, Фонду декарбонізації, міжнародні грантові та кредитні програми та ін. Проведений аналіз показав, що поєднання бюджетних коштів, міжнародної технічної допомоги та приватних інвестицій дозволяє суттєво знизити фінансове навантаження на територіальні громади та забезпечити реалізацію комплексних проєктів термомодернізації і впровадження відновлюваних джерел енергії.

У розділі також розглянуто методологічні засади розрахунку показників ефективності енергоспоживання будівель відповідно до вимог ДСТУ 9190:2022. Показано, що сучасний підхід до оцінювання енергоефективності ґрунтується на формуванні повного енергетичного балансу будівлі з урахуванням тепловтрат, теплонадходжень, ефективності інженерних систем та типу використовуваних енергоресурсів.

Також здійснено огляд сучасного програмного забезпечення, яке застосовується у сфері енергоаудиту, енергетичного моделювання, проєктування інженерних систем та оцінювання потенціалу застосування відновлюваних джерел енергії для будівель різного призначення. Встановлено, що використання програмно-аналітичних інструментів дозволяє підвищити точність розрахунків, обґрунтованість прийняття технічних і управлінських рішень, а також забезпечити відповідність проєктів чинним нормативним вимогам і стандартам.

РОЗДІЛ 3 РОЗРАХУНКИ ТА АНАЛІЗ ПОКАЗНИКІВ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ БУДІВЛІ З ВИКОРИСТАННЯМ ЕНЕРГІЇ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ

3.1 Визначення показників питомого енергоспоживання громадської будівлі для нового будівництва

Метою дослідження є огляд технічних рішень щодо огорожень та інженерних систем на прикладі адміністративної будівлі для досягнення вимог енергоефективності для нових будівель (клас С) і підвищених вимог до енергоефективності (клас А). Для оцінки визначення питомого енергоспоживання і розробки енергетичних сертифікатів для будівель відповідно до Закону України [3] використовується методика ДСТУ 9190:2022 [11] та рекомендації, вказані у підзаконних нормативних документах. Методика враховує: кліматичні умови, внутрішній мікроклімат, конструкцію огорожень, час експлуатації, характеристики систем акумулювання, генерації і розподілу, є можливість також враховувати нетрадиційні і відновлювальні джерела енергії. В ході дослідження виконано розрахунки трансмісійних тепловтрат через огорожувальні конструкції, теплові надходження від зовнішніх і внутрішніх джерел, енергопотреби на опалення і вентиляцію, додаткові витрати; враховано характеристики інженерних систем та ефективність роботи генеруючого обладнання. Для виконання моделювання була розроблена математична модель для виконання обчислень питомої енергопотреби на опалення, охолодження, гарячого водопостачання, вентиляції, освітлення, а також питомого енергоспоживання, первинної енергії, викидів CO₂ та класу енергоефективності. Розглядається два варіанти технічних рішень щодо огорожень та інженерних систем для вказаного об'єкта досліджень:

- сценарій 1: нова будівля відповідає класу енергоефективності С;
- сценарій 2: нова будівля відповідає вимогам класу енергоефективності А.

Об'єкт дослідження

Об'єктом дослідження є адміністративна будівля розташована у I температурній зоні, розрахована на одночасне перебування близько 100 осіб на годину, що має два поверхи і підвальне приміщення, в якому організоване укриття. На входах в будівлю влаштовано тамбури. Будівля має квадратну форму в плані з допоміжними прибудовами, сумарна опалювальна площа 768 м², загальна площа близько 950 м². Показник компактності 0,54 м⁻¹:

Кондиціонований об'єм 2289 м³. Архітектурні рішення передбачають створення функціонального простору для відвідувачів з урахуванням вимог до енергоефективності, екологічності при поводженні з відходами, доступності для осіб з обмеженими фізичними можливостями. Внутрішня теплоємність будівлі 25 Вт·год/м²·К. У таблиці 3.1 наведено температури та графік опалення.

Таблиця 3.1 – Графік опалення та охолодження

	Опалення	Охолодження
Графік, год/тиждень	168	50
Задана температура, °С	20	25
Температура чергового режиму, °С	10	-

Зовнішні стіни - залізобетонний каркас із сендвіч панелями, перекриття монолітні залізобетонні, склад стіни: мінеральні плити густиною 115 кг/м³ і теплопровідністю $\lambda=,038$ Вт/(м·К) та металопрофіль 0,5 мм з обох сторін теплопровідністю $\lambda=58$ Вт/(м·К). На фасадах передбачено скляні вітражі, що підкреслюють концепцію «відкритого простору» (open space). Цоколь оздоблено фасадною плиткою по утеплювачу. Покрівля – пласка, з монолітного залізобетону з тепло- та гідроізоляційним шаром. Підлога – на ґрунті, утеплена пінополістиролом, передбачена гідроізоляція.

Трансмійні та інфільтраційні тепловтрати у приміщеннях будівлі компенсуюватимуться за допомогою системи опалення, що складається з конвекторів та сталевих панельних радіаторів.

Мінімально допустиме значення приведенного опору теплопередачі для I температурної зони згідно ДБН В.2.6-31:2021 [9] складає:

- для зовнішніх стін - $R_{q \min} = 4,0 \left(\frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}} \right)$;
- для світлопрозорих огорожувальних конструкцій - $R_{q \min} = 0,9 \left(\frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}} \right)$;
- для зовнішніх дверей - $R_{q \min} = 0,7 \left(\frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}} \right)$;
- для суміщеного перекриття - $R_{q \min} = 7,0 \left(\frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}} \right)$.

Згідно Наказу Міністерства розвитку громад та територій України від 27.10.2020 № 260 [4] граничне значення питомого енергоспоживання при опаленні та охолодженні, EP_p становить: $[33\Delta b_{ci} + 17]$ кВт·год/м³.

Допустима за санітарно-гігієнічними вимогами різниця між температурою внутрішнього повітря і приведеною температурою внутрішньої поверхні огорожувальної конструкції $\Delta\theta_{int-si, \max}$, °С згідно ДБН В.2.6-31:2021:

- для зовнішніх стін – 5,0 °С;
- для покриття та перекриття горищ – 4,0 °С;
- для перекриття над проїздами та підвалами – 2,5 °С.

Визначення теплотехнічних показників огорожувальних конструкцій будівлі

Приведений опір теплопередачі зовнішніх огорожувальних конструкцій визначається згідно з ДСТУ 9191:2022 [12] та ДСТУ EN 14509:2017 [43], при цьому розрахункові теплофізичні параметри матеріалів, що використовуються, визначені згідно з додатком А [12]. Також в ході дослідження перевіримо вимогу енергоефективності стосовно дотримання санітарно-гігієнічної різниці

температур між температуро внутрішнього повітря і температурою поверхні зовнішніх огорожень.

У даній магістерській дисертації наведено детальний розрахунок адміністративної будівлі за сценарієм 2, розрахунок за сценарієм 1 проводився аналогічно. Загальні теплотехнічні характеристики наведені у таблиці 3.1.4.

1) Зовнішні стіни

Мінімально допустиме значення приведенного опору теплопередачі для I температурної зони (згідно ДБН В.2.6-31:2021 [9]) складає 4,0 (м·°С/Вт).

Розраховуємо дійсне значення опору теплопередачі для зовнішньої стіни за формулою:

$$R_{\Sigma} = \left(\frac{1}{h_{si}} + \sum_{i=1}^n \frac{d_i}{\lambda_i} + \frac{1}{h_{se}} \right), \quad (3.1)$$

$$R_{\Sigma} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,0005}{58} + \frac{0,2}{0,038} + \frac{0,0005}{58} + \frac{1}{23} = 5,422 \text{ м}^2 \cdot \frac{\text{К}}{\text{Вт}}.$$

Згідно ДСТУ EN 14509:2017 [43] коефіцієнт теплопередачі теплоізоляційної панелі з врахуванням лінійної теплопередачі стиків визначається за формулою:

$$U = \frac{1}{R_i} \cdot \left(1 + f_{joint} \frac{1}{B} \right), \quad (3.2)$$

$$U = \frac{1}{5,422} \cdot \left(1 + 0,03 \frac{1}{1,15} \right) = 0,189 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}.$$

Опір теплопередачі панелі:

$$R_1 = \frac{1}{U}, \quad (3.3)$$

$$R_1 = \frac{1}{0,189} = 5,29 \text{ м}^2 \cdot \frac{\text{К}}{\text{Вт}}.$$

Розраховуємо приведений опір теплопередачі термічно неоднорідної зовнішньої стіни (з врахуванням теплопровідних включень) за формулою:

$$R_1 = \frac{A_{\Sigma}}{\sum_i \frac{A_i}{R_i} + \sum_i I_m \cdot \psi_m + \sum_i N_j \cdot X_j}, \quad (3.4)$$

де $A_{\Sigma} = 264 \text{ м}^2$ – загальна площа зовнішніх стін;

$A_1 = 257,0 \text{ м}^2$ – площа зовнішніх стін;

$R_1 = 5,29 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$ – опір теплопередачі термічнооднорідної стіни;

Ψ_m – лінійний коефіцієнт теплопередачі лінійного теплопровідного включення, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ визначається згідно додатку Г ДСТУ 9191:2022 [12]; для вузла примикання вікна до сендвіч-панелі – $0,058 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$;

I_m – лінійний розмір (проекція) лінійного теплопровідного включення, К : для вузла примикання віконної конструкції до сендвіч-панелі – $118,6 \text{ м}$;

тоді

$$\Psi_m \cdot I_m = 0,058 \cdot 118,6 = 6,87 \text{ Вт/К};$$

χ_j – точковий коефіцієнт теплопередачі точкового теплопровідного включення, Вт/К визначається згідно додатку Д ДСТУ 9191:2022 [12]: вузол кріплення сендвіч панелі – $0,005 \text{ Вт/К}$;

N_j – загальна кількість точкових містків холоду - вузлів влаштування кріплення сендвіч панелі – 1542 шт ;

тоді

$$N_j \cdot \chi_j = 0,005 \cdot 1542 = 7,71 \text{ Вт/К}.$$

Тоді приведений опір теплопередачі термічно неоднорідної зовнішньої стіни дорівнює за формулою 3.4:

$$R_{\Sigma \text{пр}} = \frac{264,1}{\frac{257}{5,29} + 6,87 + 7,71} = 4,18 \text{ м}^2 \cdot \frac{\text{К}}{\text{Вт}}.$$

Перевірка умови: $R_{\Sigma \text{пр}} = 4,18 \geq R_{q \text{ min}} = 4$, тобто умова виконується.

Температура внутрішньої поверхні стіни/укосів визначається за формулою:

$$\theta_{si,H,i} = \theta_{int} - \frac{\theta_{int} - \theta_{ext}}{R_{\Sigma i} h_{si}}, \quad (3.5)$$

де θ_{int} – температура внутрішнього повітря;

θ_{ext} – розрахункова температура зовнішнього повітря, для I температурної зони мінімум $22 \text{ }^\circ\text{C}$ згідно таблиці Б.4 ДБН В.2.6-31:2021 [9];

$$\theta_{si,H,i} = 20 - \frac{20 - (-22)}{8,7 \cdot 5,291} = 19,09 \text{ }^\circ\text{C},$$

$$\theta_{si,H,PC} = 20 - \frac{20 - (-22)}{8,7 \cdot \frac{0,06}{0,058}} = 15,33 \text{ } ^\circ\text{C} .$$

Приведена температура внутрішньої поверхні стіни:

$$\theta_{si,np,H} = \frac{\sum i \theta_{si,H,i} \cdot A_{si,H,i}}{A_{si,\Sigma,H}}, \quad (3.6)$$

$$\theta_{si,np,H} = \frac{19,09 \cdot 257 + 15,33 \cdot 7,1}{264,1} = 18,99 \text{ } ^\circ\text{C} .$$

Визначаємо коефіцієнт скління фасадів будівлі:

$$m_{gl,B} = \frac{A_{si,\Sigma C,B}}{A_{si,\Sigma C,B} + A_{si,\Sigma H,B}}, \quad (3.6)$$

де $A_{si,\Sigma C,B}$ – загальна площа світлопрозорих огорожувальних конструкцій;

$A_{si,\Sigma H,B}$ – загальна площа зовнішніх стін (без укосів)/дверей;

$$m_w = \frac{167,2}{167,2 + 257 + 16} = 0,38.$$

Оскільки коефіцієнт скління фасадів становить 0,38, що більше ніж 0,3, тоді температурний перепад між внутрішньою температурою огороження та температурою внутрішнього повітря становить:

$$\Delta\theta_{int-si,np} = \theta_{int} - \frac{\theta_{si,np,H} \cdot A_{si,\Sigma H} + \theta_{si,np,C} \cdot A_{si,\Sigma C}}{A_{si,\Sigma H} + A_{si,\Sigma C}}, \quad (3.7)$$

де $A_{si,\Sigma H}$ – загальна площа зовнішніх стін;

$A_{si,\Sigma C}$ – загальна площа світлопрозорих огорожувальних конструкцій;

$\theta_{si,np,H}$ – приведена температура внутрішньої поверхні стіни;

$\theta_{si,np,C}$ – приведена температура внутрішньої поверхні світлопрозорих огорожувальних конструкцій;

За формулою 3.7 отримаємо:

$$\Delta\theta_{int-si,np} = 20 - \frac{18,99 \cdot 264,1 + 15,59 \cdot 167,2}{264,1 + 167,2} = 2,33 \text{ } ^\circ\text{C} .$$

Допустима за санітарно-гігієнічними вимогами різниця між температурою внутрішнього повітря і приведеною температурою внутрішньої поверхні огорожувальної конструкції для зовнішніх стін становить $\Delta\theta_{int-si,max} = 5 \text{ } ^\circ\text{C}$ згідно таблиці 3 ДБН В.2.6-31:2021 [9]. Так як $\Delta\theta_{int-si,np} \leq \Delta\theta_{int-si,max}$, умова виконується.

2) Суміщене покриття

Склад конструкції для сценарію 2:

- залізобетон 200 мм теплопровідністю 2,04 Вт/(м·К);
- бітумна мастика 2 мм теплопровідністю 0,22 Вт/(м·К);
- мінераловатні плити густиною 135 кг/м³ товщиною 300мм теплопровідністю 0,039 Вт/(м·К);
- гідроплівка, стяжка, гідроізоляція.

Розраховуємо значення опору теплопередачі суміщеного покриття (однорідна конструкція):

$$R_i = \left(\frac{1}{h_{si}} + \sum_{i=1}^n \frac{d_i}{\lambda_i} + \frac{1}{h_{se}} \right), \quad (3.8)$$

$$R_i = \frac{1}{10} + \frac{0,2}{2,04} + \frac{0,002}{0,22} + \frac{0,3}{0,039} + \frac{0,001}{0,23} + \frac{0,05}{0,93} + \frac{0,008}{0,17} + \frac{1}{23} = 7,98 \text{ м}^2 \cdot \frac{\text{К}}{\text{Вт}}.$$

Приведений опір теплопередачі суміщеного покриття дорівнює опору теплопередачі для однорідного суміщеного покриття, так як лінійних та точкових теплопровідних включень немає: $R_{\Sigma np} = 7,98 \text{ м}^2 \cdot \frac{\text{К}}{\text{Вт}}$.

$$R_{\Sigma np} = 7,98 \text{ м}^2 \cdot \frac{\text{К}}{\text{Вт}} \leq R_{qmin} = 7 \text{ м}^2 \cdot \frac{\text{К}}{\text{Вт}}, \text{ отже, умова виконується.}$$

Температура внутрішньої поверхні огорожень:

$$\theta_{si,H,i} = \theta_{int} - \frac{\theta_{int} - \theta_{ext}}{R_{\Sigma i} h_{si}}, \quad (3.9)$$

де θ_{int} – температура внутрішнього повітря;

θ_{ext} – розрахункова температура зовнішнього повітря, для І зони;

$$\theta_{si,H,i} = 20 - \frac{20 - (-22)}{10 \cdot 7,98} = 19,47 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Різниця температур між температурою внутрішнього повітря та приведеною температурою внутрішньої поверхні огороження:

$$\Delta\theta_{int-si,np} = \theta_{int} - \theta_{si,np,H}, \quad (3.10)$$

$$\Delta\theta_{int-si,np} = 20 - 19,47 = 0,53 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Допустима за санітарно-гігієнічними вимогами різниця температур становить $\Delta\theta_{int-si,max} = 4,0 \text{ }^\circ\text{C}$ згідно таблиці 3 ДБН В.2.6-31:2021 [9]; отже умова виконується: $\Delta\theta_{int-si,np} \leq \Delta\theta_{int-si,max}$.

3) Світлопрозорі огорожувальні конструкції

Мінімально допустиме значення приведенного опору теплопередачі світлопрозорих огорожень будівлі для I температурної зони згідно ДБН В.2.6-31:2021 [9] становить 0,9 ($\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$). Так як коефіцієнт скління фасаду $m_{gl,B} = 0,38$, розраховуємо необхідну приведену температуру на внутрішній поверхні світлопрозорих огорожувальних конструкцій, здатну забезпечити задану різницю температур ($\Delta\theta_{int-si,max}$) за формулою (Л.3) згідно ДСТУ 9191:2022 [12]:

$$\Delta\theta_{int,np,c} = \frac{(\theta_{int} - \Delta\theta_{int-si,max}) \cdot (A_{si,\Sigma,H} + A_{si,\Sigma,C}) - \theta_{si,np,H} \cdot A_{si,\Sigma,H}}{A_{si,\Sigma,C}}, \quad (3.11)$$

$$\Delta\theta_{int,np,c} = \frac{(20-5) \cdot (167,2+264) - 18,99 \cdot 264}{167,2} = 8,7 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Мінімально допустиме значення приведенного опору теплопередачі світлопрозорої огорожувальної конструкції, в зовнішньому огороженні визначається за формулою (Л.5) згідно ДСТУ 9191:2022 [12]:

$$R_{qmin,gl} = \frac{\theta_{int} - \theta_{ext}}{(\theta_{int} - \theta_{si,np,c})} \cdot \frac{1}{h_{si}}, \quad (3.12)$$

$$R_{qmin,gl} = \frac{20 - (-22)}{(20 - 8,7)} \cdot \frac{1}{8} = 0,46 \text{ м}^2 \cdot \frac{\text{К}}{\text{Вт}};$$

Для сценарію 2 установки приймаються віконні блоки із ПВХ профілю товщиною 85 м ($R_{проф} = 1,12 \text{ м}^2 \cdot \frac{\text{К}}{\text{Вт}}$) з двокамерними склопакетами 4MDS_plus-16Ar-4-16Ar-4i ($R_{сп} = 1,12 \text{ м}^2 \cdot \frac{\text{К}}{\text{Вт}}$).

Розраховуємо приведений опір теплопередачі віконних та вітражних блоків із двокамерними склопакетами за формулою:

$$R_{\Sigma np} = \frac{F_{cn} - F_{проф}}{\frac{F_{cn}}{R_{cn}} + \frac{F_{проф}}{R_{проф}} + \sum_{j=1}^J k_j L_j}, \quad (3.13)$$

де F_{Σ} – загальна площа світлопрозорих огорожувальних конструкцій;

F_{cn} – загальна площа склопакетів;

$F_{проф}$ – загальна площа рам віконних блоків;

R_{cn} – приведений опір теплопередачі термічно однорідного склопакету;

$R_{проф}$ – приведений опір теплопередачі елементів із профілю;

k_j – лінійний коефіцієнт теплопередачі лінійного теплопровідного включення в зоні примикання склопакету до рами 0,03 Вт/(м·К);

L_j – лінійний розмір лінійних теплопровідних включень в зоні примикання склопакету до рами – 545 м;

тоді

$$L_j \cdot k_j = 0,03 \cdot 545 = 16,35 \frac{\text{Вт}}{\text{К}};$$

тоді приведений опір теплопередачі віконних блоків із ПВХ та двокамерними склопакетами за формулою 3.13 становить:

$$R_{\Sigma np} = \frac{167,2}{\frac{120,4}{1,22} + \frac{46,8}{1,12} + 16,35} = 1,07 \text{ м}^2 \cdot \frac{\text{К}}{\text{Вт}}.$$

$$R_{\Sigma np} = 1,07 \text{ м}^2 \cdot \frac{\text{К}}{\text{Вт}} \geq R_{qmin} = 0,9 \text{ м}^2 \cdot \frac{\text{К}}{\text{Вт}}, \text{ отже умова виконується.}$$

Мінімально допустиме значення температури на внутрішній поверхні $\Delta\theta_{si,min}$ світлопрозорих огорожувальних конструкцій при розрахункових значеннях температур повинно бути не менше ніж температура точки роси θ_D .

Температуру внутрішньої поверхні віконних блоків визначаємо за формулою:

$$\theta_{si,min} = \theta_{int} - \frac{\theta_{int} - \theta_{e,роз}}{R_{\Sigma np} \alpha_B}, \quad (3.14)$$

$$\theta_{si,min} = 20 - \frac{20 - (-22)}{8 \cdot 1,07} = 15,09 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

При $\theta_{int} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$; $\varphi_{int} = 50 \%$ температура точки роси внутрішнього повітря становить $\theta_D = 9,3 \text{ }^\circ\text{C}$. Отже, умова виконується.

Визначаємо температури на поверхні віконного склопакету та профілю:

$$\theta_{si,min,cnk} = \theta_{int} - \frac{\theta_{int} - \theta_{e,роз}}{R_{cn/проф} h_{si}}, \quad (3.15)$$

- для віконного склопакету:

$$\theta_{si,min,cn1} = 20 - \frac{20 - (-22)}{\frac{8}{1,22}} = 15,7 \text{ }^\circ\text{C}$$

- для профілю:

$$\theta_{si,min,проф} = 20 - \frac{20 - (-22)}{\frac{8}{1,12}} = 15,31 \text{ }^\circ\text{C}$$

Визначаємо приведену температуру внутрішньої поверхні світлопрозорих огорожувальних конструкцій:

Приведена температура внутрішньої поверхні огорожень:

$$\theta_{si,min,cnk} = \frac{\theta_{si,min,cn} \cdot F_{cn} + \theta_{si,min,проф} \cdot F_{проф}}{F_{cn} + F_{проф}}, \quad (3.16)$$

$$\theta_{si,min,cnk} = \frac{15,7 \cdot 120,4 + 15,31 \cdot 46,8}{120,4 + 46,8} = 15,59 \text{ }^\circ\text{C}.$$

4) Огорожувальні конструкції, що межують із ґрунтом

Визначаємо характерний розмір підлоги:

$$B' = \frac{A}{0,5 \cdot P}, \quad (3.17)$$

де A – площа підлоги; P – зовнішній периметр підлоги.

$$B' = \frac{282,9}{0,5 \cdot 82,2} = 6,88.$$

Визначаємо еквівалентну товщину підлоги:

$$d_t = w + \lambda(R_{si} + R_f + R_{se}), \quad (3.18)$$

де w – загальна товщина стіни, включаючи всі шари;

λ – теплопровідність ґрунту (пісок або гравій);

$R_{si} = 0,17 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}$ – тепловий внутрішній поверхневий опір, для горизонтальної огорожувальної конструкції, тепловий потік зверху вниз згідно з табл. Б.2 ДСТУ 9190:2021 [11];

$R_{se} = 0,17 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}$ – тепловий зовнішній поверхневий опір, приймають згідно з таблицею Б.2 ДСТУ 9190:2021.

Термічний опір підлоги включаючи всі шари (плитка, клей, стяжка з цементно-піщаного розчину, гідроізоляція, утеплювач, залізобетон, гідроізоляція, бетонна підготовка):

$$R_i = \frac{0,01}{1,1} + \frac{0,01}{0,08} + \frac{0,05}{0,93} + \frac{0,004}{0,17} + \frac{0,15}{0,034} + \frac{0,4}{2,04} + \frac{0,004}{0,17} + \frac{0,1}{1,86} = 4,897 \text{ м}^2 \cdot \frac{\text{К}}{\text{Вт}}.$$

Еквівалентна товщина підлоги:

$$d_t = 0,454 + 2 \cdot (0,17 + 4,897 + 0,043) = 10,674 \text{ м}.$$

Оскільки $d_t + 0,5 \cdot z \geq B'$ (добре ізольована підлога) $10,674 + 0,5 \cdot 2,06 = 11,704 > 6,88$ коефіцієнт теплопередачі підлоги цокольного поверху визначаємо за формулою:

$$U_{bf} = \frac{\lambda}{0,457B' + d_t + 0,5 \cdot z}, \quad (3.19)$$

де $z = 2,06 \text{ м}$ – висота стін, що межують з ґрунтом.

$$U_{bf} = \frac{2}{3,14 \cdot 6,88 + 10,674 + 0,5 \cdot 2,06} = 0,135 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

Визначаємо еквівалентну товщину стін, що межують з ґрунтом:

$$d_w = \lambda(R_{si} + R_w + R_{se}), \quad (3.20)$$

де $\lambda = 2,0 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ – теплопровідність ґрунту (пісок або гравій) прийнята згідно з таблицею Б.1 ДСТУ 9190:2021 [11];

$R_{si} = 0,115 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}$ – тепловий внутрішній поверхневий опір (горизонтальна огорожувальна конструкція (тепловий потік зверху вниз)), приймають згідно з таблицею Б.2 ДСТУ 9190:2021;

$R_{se} = 0,043 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}$ – тепловий зовнішній поверхневий опір, приймають згідно з таблицею Б.2 ДСТУ 9190:2021;

$R_w = \frac{0,03}{2,04} + \frac{0,004}{0,17} + \frac{0,15}{0,034} = 4,582 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}$ – термічний опір стін, що межують з ґрунтом (штукатурка, залізобетон, гідроізоляція бітумна, утеплювач);

$$d_w = 2(0,115 + 4,582 + 0,043) = 9,48 \text{ м.}$$

Коефіцієнт теплопередачі стін, що межують із ґрунтом становить визначаємо за формулою:

$$U_{bw} = \frac{2\lambda}{\pi z} \left(1 + \frac{0,5d_t}{d_t + z} \right) \ln \left(\frac{z}{d_w} + 1 \right), \quad (3.21)$$

$$U_{bw} = \frac{2 \cdot 2}{3,14 \cdot 2,06} \left(1 + \frac{0,5 \cdot 10,704}{10,704 + 2,06} \right) \ln \left(\frac{2,06}{4,582} + 1 \right) = 0,173 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

Стаціонарний узагальнений коефіцієнт теплопередачі трансмісією до ґрунту визначають за формулою:

$$U_g = A \cdot U_{bf} + z \cdot P \cdot U_{bw} + P \cdot \psi_g, \quad (3.22)$$

де $\psi_g = 0,88 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ – лінійний коефіцієнт теплопередачі вузла примикання конструкції підлоги по ґрунту до стіни цоколя згідно ДСТУ 9191:2022;

$$U_g = 282,9 \cdot 0,135 + 2,06 \cdot 82,2 \cdot 0,173 + 82,2 \cdot 0,88 = 139,8 \frac{\text{Вт}}{\text{К}}.$$

Зведені характеристики зовнішніх огорожувальних конструкцій для двох сценаріїв наведено в таблиці 3.2. При цьому товщина ізоляції зовнішніх стін для сценарію 1 становить 0,18 м.

Таблиця 3.2 – Зведені характеристики огорожувальних конструкцій

Вид огорожувальної конструкції	Приведений опір теплопередачі (м ² ·К)/Вт		Мінімальні вимоги	Площа, м ²
	Сценарій 1	Сценарій 2		
Зовнішні стіни	4,0	4,18	4	313,6
Покриття опалювальних горищ	7,02	7,98	7	282,9

Продовження таблиці 3.2.

Конструкції, що межують з ґрунтом:				452,2
– підлоги по ґрунту	2,56	2,56	-	282,9
– стіни цоколь	5,78	5,78	-	169,3
Світлопрозорі огорожувальні конструкції, з них:	0,9	1,07	0,9	167,2
Зовнішні двері	0,7	0,7	0,7	16

Характеристика інженерних систем

Згідно з ДСТУ EN 15232-1 [13] було визначено клас ефективності систем. Характеристики систем наведено в таблицях нижче (табл. 3.3-3.7)

Таблиця 3.3 – Система опалення

	Сценарій 1	Сценарій 2
Клас ефективності	В	А
Опис	Централізоване теплопостачання, ІТП	Повітряний тепловий насос із резервуванням електрокотлом (вода 45/35 °С)
Тип опалювальних приладів	Сталеві радіатори	Внутрішньопідлогові конвектори і сталеві панельні радіатори
Регулювання опалення	Змінна уставка температури теплоносія з компенсацією внутрішньої температури. Автоматичне регулювання	Погодозалежне регулювання, черговий режим, автоматичні термостатичні клапани

Таблиця 3.4 – Система гарячого водопостачання

	Сценарій 1	Сценарій 2
Клас ефективності	С	В
Опис	Централізоване	Система централізована від ІТП, тепловий насос із циркуляційним контуром
Балансування	Система збалансована запірною регулювальною арматурою	Система збалансована, автоматичні регулятори

Таблиця 3.5 – Система охолодження

	Сценарій 1	Сценарій 2
Клас ефективності	С	А
Опис	Централізоване охолодження відсутнє, але є елементи затінення	Холодопостачання від компресорно конденсаторних блоків, теплоносій 20 °С.
Балансування	-	Збалансована за допомогою балансувальної арматури

Таблиця 3.6 – Система вентиляції та кондиціонування

	Сценарій 1	Сценарій 2
Клас ефективності	С	А
Опис	Природня припливно-витяжна, приплив – через нещільності і вікна, що відчиняються, витяжка через канали в санвузлах	Наявні припливно-витяжні, припливні та витяжні системи механічної вентиляції в окремих зонах будівлі
Регулювання температури повітря	відсутнє	Залежно від погоди та рівня CO ₂

Таблиця 3.7 – Система освітлення

	Сценарій 1	Сценарій 2
Клас ефективності	В	А
Опис	Освітлювальні прилади – світлодіодні і люмінесцентні лампи; потужністю 6,3 Вт/м ² .	Освітлювальні прилади – світлодіодні лампи; потужність 5,21 Вт/м ² . датчики руху
Аварійне освітлення	Присутнє	Присутнє
Облік споживання	Загальний облік	Загальний облік

3.2 Розрахунок енергетичних характеристик

Методика згідно ДСТУ 9190:2022 використовується для оцінки енергетичної ефективності та розробки енергетичних сертифікатів. Схема методики розрахунку за ДСТУ 9190:2022 і опис методики наведено в розділі 2. Для виконання розрахунків розроблено математичну модель в програмному середовищі Excel, нижче наведено результати обчислень для сценарію 2, розрахунки для сценарію 1 виконувалися аналогічно, результати розрахунків наведено в зведених таблицях розділу.

1) Розрахунок теплопередачі трансмісією

У пункті 3.2 було визначено опори теплопередачі огорожувальних конструкцій. Зведені результати характеристик теплопередачі трансмісією наведено в таблиці нижче.

Таблиця 3.8 – Характеристика теплопередачі трансмісією

Вид огороження	A, м ²	R, м ² К/Вт	U, Вт/м ² К	ΔU_{tb} , Вт/м ² К	$b_{tr,x,H}$	$b_{tr,x,C}$	$H_{x,H}$, Вт/К	$H_{x,C}$, Вт/К
Зовнішні стіни	264	5,29	0,189	0,1	1	1	76,3	76,3
Зовнішні стіни	49,5	5,195	0,192	0,1	1	1	14,5	14,5
Суміщене покриття	282,9	7,980	0,125	0,1	1	1	63,7	63,7
Світлопрозорі огороження	167,2	1,070	0,935	-	1	1	156,3	156,3
Підлога на ґрунті	452,2	3,236	0,309	-	1	0	139,8	0
Двері	16	0,7	1,429	0	1	1	22,9	22,9

Узагальнений коефіцієнт теплопередачі визначається за формулою:

$$H_{tr.adj} = H_D + H_g + H_U + H_A, \quad (3.23)$$

де H_u – узагальнений коефіцієнт теплопередачі трансмісією через некондиціоновані об'єми, Вт/К;

H_A – узагальнений коефіцієнт теплопередачі трансмісією до суміжних будівель, Вт/К;

H_D – узагальнений коефіцієнт теплопередачі трансмісією до зовнішнього середовища Вт/К.

Узагальнені коефіцієнти теплопередачі:

- для охолодження :

$$H_{tr.adj.C} = 76,3 + 14,5 + 63,7 + 156,3 + 0 + 22,9 = 333,7 \frac{\text{Вт}}{\text{К}},$$

- для опалення:

$$H_{tr.adj.H} = 76,3 + 14,5 + 63,7 + 156,3 + 139,8 + 22,9 = 473,5 \frac{\text{Вт}}{\text{К}}.$$

Сумарна теплопередача трансмісією розрахована за формулами (9) та (10) з ДСТУ 9190:2022. Детальні результати розрахунків показано в зведених таблицях.

2) Розрахунок теплопередачі вентиляцією

Система вентиляції за другим сценарієм механічна припливно-витяжна. Величина повітрообміну системи загальнообмінної вентиляції – 4930 м³/год. В системі вентиляції передбачено теплоутилізаційні установки - рекуператори.

Значення загального коефіцієнту теплопередачі вентиляцією за формулою:

$$H_{ve.adj} = \rho_a c_a (q_{ve,mn,H} b_{ve} + q_{inf,mn}), \quad (3.24)$$

- для періоду опалення:

$$H_{ve.adj,H} = 0,336 \cdot \frac{(3070 + 1860(1 - 0,84 \cdot 0,65))50}{168} + 237) = 470,4 \text{ Вт/К},$$

- для періоду охолодження:

$$H_{ve.adj,C} = 0,336 \cdot (3070 + 1860 \cdot (1 - 0,84 \cdot 0,65)) \cdot 50 / 168 + 132) = 435,1 \text{ Вт/К}.$$

Детальні результати розрахунків показано в зведених таблицях.

3) Характеристика внутрішніх теплонадходжень

Згідно з методикою ДСТУ 9190:2022 до уваги прийняті наступні теплонадходження: внутрішній тепловий потік від людей, внутрішній тепловий потік від обладнання, внутрішній тепловий потік від освітлення. Відповідно загальна сумарна величина усередненого теплового потоку приймається згідно з таблицею 6 ДСТУ 9190:2022 і становить $\Phi_{int} = 17 \text{ Вт/м}^2$ (табл.3.2.2).

Таблиця 3.9 – Характеристики внутрішніх теплонадходжень

Призначення будівлі	Графік використання, год/тиждень	Метаболічна теплота, Φ_{int} ; Вт/м ²	Освітлення, $\Phi_{int,L}$; Вт/м ²	Обладнання, $\Phi_{int,A}$; Вт/м ²	Сумарні внутрішні теплонадходження, Φ_{int} ; Вт/м ²
Адмін. будівля	50	4,0	7,0	6,0	17,0

Значення внутрішніх теплонадходжень для кожного місяця розраховані за формулою:

$$Q_{int} = \frac{N}{168} \cdot \frac{N_m - N_{m,нос}}{N_m} (\sum_k \Phi_{int,mn,k} A_{f,k}) t + Q_{w,dis,rbl,m}, \quad (3.24)$$

де $\sum_k \Phi_{int,mn,k}$ - усереднений за часом тепловий потік від k-го внутрішнього джерела, що включає теплонадходження, Вт/м²;

A_f – опалювальна площа будівлі;

t – тривалість періоду використання, год/місяць.

Детальні результати розрахунків показано в зведених таблицях.

4) Характеристика сонячних теплонадходжень

Середньомісячна сонячна радіація на відповідні площини визначені згідно з додатком А ДСТУ 9190:2022. Наведемо характеристики світлопрозорих конструкцій, що використовуються для застосування будинку:

- коефіцієнт загального пропускання сонячної енергії згідно таблиці 8 ДСТУ 9190:2022 для потрійного скління $g_n = 0,5$;
- поправочний коефіцієнт для нерозсіюючого скління $F_w = 0,9$;
- коефіцієнт пропускання сонячної енергії $g_{gl} = 0,5 \cdot 0,9 = 0,45$.

В якості рухомих засобів затінення передбачено, що використовуються білі завіси зсередини вікон низької ефективності (понижувальний коефіцієнт згідно з табл.9 дорівнює $\varepsilon = 0,95$). Загальний коефіцієнт пропускання сонячної енергії скління за наявності сонячного затінення: $0,95 \cdot 0,45 = 0,43$;

Площа світлопрозорих конструкцій наведена у таблиці 3.2.3. Непрозорі елементи, які піддаються інсоляції, - це зовнішні стіни чотирьох фасадів та покрівля. Площа непрозорих елементів 3.2.4.

Таблиця 3.10 – Площа світлопрозорих конструкцій

Площа світлопрозорих конструкцій згідно з проектними даними, м ²								
Пн	ПнСх	Сх	ПдСх	Пд	ПдЗх	Зх	ПнЗх	Гор
5,2	0	34,6	0	85,3	0	42,1	0	0

Таблиця 3.11 – Площа непрозорих елементів

Площа непрозорих елементів згідно з проектними даними, м ²								
Пн	ПнСх	Сх	ПдСх	Пд	ПдЗх	Зх	ПнЗх	Гор
108,8	0	68,6	0	27,9	0	58,8	0	282,9

Загальний тепловий потік від сонячних теплонадходжень розрахований згідно з формулою:

$$\Phi_{sol,mn,k} = F_{sh,ob,k} A_{sol,k} I_{sol,k} - F_{r,k} \Phi_{r,k}, \quad (3.24)$$

де $F_{sh,ob,k}$ – понижувальний коефіцієнт затінення перешкодами для еквівалентної площі інсоляції k-ої поверхні;

$A_{sol,k}$ – еквівалентна площа інсоляції k-ої поверхні з даною орієнтацією та кутом нахилу у визначеній зоні чи об'ємі, м², визначається окремо для світлопрозорих та непрозорих поверхонь;

$I_{sol,k}$ – сонячна радіація, значення енергетичної освітленості площі k-ої поверхні з даною орієнтацією та кутом нахилу за середніх умов хмарності Вт/м²;

$F_{r,k}$ – коефіцієнт форми між елементом будівлі та небосхилом: 1- для незатіненого горизонтального даху, 0,5 - для незатіненої вертикальної стіни;

$\Phi_{r,k}$ – додатковий тепловий потік внаслідок теплового випромінювання в атмосферу від k-го елемента будівлі, Вт.

Зведені результати розрахунків теплонадходжень наведено в табл.і 3.12.

Таблиця 3.12 - Характеристики внутрішніх і сонячних теплонадходжень

Місяць	Параметри												
	θ_e , °C	t, год	$I_{пн}$, Вт/м ²	$I_{пнсх}$, Вт/м ²	$I_{сх}$, Вт/м ²	$I_{пдсх}$, Вт/м ²	$I_{пд}$, Вт/м ²	$I_{пдзх}$, Вт/м ²	$I_{зх}$, Вт/м ²	$I_{пнзх}$, Вт/м ²	$I_{гор}$, Вт/м ²	Q_{sol} , кВт·год	Q_{int} , кВт·год
Січень	-4,7	744	13	14	21	38	50	40	22	14	32	1373	2704
Лютий	-3,6	672	24	25	36	57	70	60	38	25	59	1902	2611
Березень	1	744	35	41	58	78	90	81	61	41	101	2980	2798
Квітень	9	720	39	53	77	92	92	88	73	52	149	3246	2704
Травень	15,2	744	56	79	104	110	101	107	99	77	211	4079	2611
Червень	18,3	720	67	88	111	110	96	106	105	86	228	3956	2611

Продовження таблиці 3.12.

Липень	19,8	744	61	83	108	109	98	106	104	81	220	4060	2891
Серпень	19	744	40	65	93	107	106	106	89	63	185	3877	2798
Вересень	13,9	720	29	41	70	91	102	91	66	41	130	3255	2798
Жовтень	8,1	744	19	22	38	62	75	61	37	21	71	2217	2798
Листопад	1,9	720	11	12	17	30	39	32	17	12	31	1030	2798
Грудень	-2,5	744	9	9	14	22	35	28	15	9	22	927	2798

5) Динамічні параметри

Часова константа будівлі характеризує внутрішню теплову інерцію будівлі. Внутрішня теплоємність будівлі розрахована за формулою:

$$C_m = C \cdot A_f, \quad (3.25)$$

де C – внутрішня теплоємність будівлі, Вт·год/(м²·К), згідно з табл. 15 [11];
 A_f – кондиціонована площа будівлі або зони будівлі, м².

$$C_m = 25 \cdot 768 = 19200 \text{ Вт} \cdot \text{год} / \text{К}.$$

Часова константа будівлі:

- для режиму опалення:

$$\tau = 19200 / (473,5 + 470,4) = 20,34 \text{ год};$$

- для режиму охолодження:

$$\tau = 19200 / (333,7 + 435,1) = 24,97 \text{ год}.$$

Формули для розрахунку безрозмірного коефіцієнту використання надходжень для опалення $\eta_{H,gn}$ і для охолодження $\eta_{C,ls}$ розраховується для кожного місяця та для кожної зони будівлі за формулами залежно від співвідношення надходжень і втрат теплоти і числових параметрів $\gamma_H = \frac{Q_{H,gn}}{Q_{H,ht}}$,

$$\gamma_C = \frac{Q_{C,gn}}{Q_{C,ht}}.$$

Безрозмірний числовий параметр α_H визначається за формулою:

- для періоду опалення:

$$\alpha_H = \alpha_{H,0} + \frac{\tau}{\tau_{H,0}}, \quad (3.26)$$

$$\alpha_H = 1 + 20,34/15 = 2,36,$$

- для періоду охолодження:

$$\alpha_C = \alpha_{C,0} + \frac{\tau}{\tau_{C,0}}, \quad (3.27)$$

$$\alpha_C = 1 + 24,97/15 = 2,66.$$

Задана температура на опалення становить $\theta_{\text{int,H.set}} = 20$ °С, для чергового режиму $\theta_{\text{int,H.set}} = 10$ °С.

Скоригована температура на охолодження згідно табл. 16 [11] становить $\theta_{\text{int,H.set}} = 25$ °С

б) Енергопотреби для опалення і охолодження

Енергопотреба для опалення розраховуються для кожного місяця за формулою [11]:

$$Q_{H,nd} = Q_{H,nd,cont} = Q_{H,ht} - \eta_{H,gn} Q_{H,gn} - Q_{ve,pre-heat}, \quad (3.28)$$

де $Q_{H,nd,cont}$ – енергопотреба для постійного опалення будівлі, Вт·год, має бути більше чи дорівнювати 0;

$Q_{H,ht}$ – сумарна теплопередача в режимі опалення, Вт·год;

$Q_{H,gn}$ – сумарні теплонадходження в режимі опалення, Вт·год;

$\eta_{H,gn}$ – безрозмірний коефіцієнт використання надходжень;

$Q_{ve,pre-heat}$ – енергопотреба для центрального попереднього підігрівання вентиляційного повітря, Вт·год.

Сумарна енергопотреба для охолодження визначається формулою [11]:

$$Q_{C,nd} = Q_{C,gn} - \eta_{C,ls}(Q_{C,ht} + Q_{ve,pre-cool}), \quad (3.29)$$

де $Q_{C,gn}$ – сумарні теплонадходження в режимі охолодження, кВт·год;

$Q_{C,ht}$ – сумарна теплопередача в режимі охолодження, кВт·год;

$\eta_{C,ls}$ – безрозмірний коефіцієнт використання втрат для охолодження?

$Q_{ve,pre-cool} = 0$ – попереднє охолодження не враховуємо.

Зведені результати розрахунків наведено в таблицях 3.13 та 3.14.

Таблиця 3.13 – Розрахунок енергопотребы для опалення

Місяць	Параметри								
	$Q_{H,tr}$, кВт·год	$Q_{H,ve}$, кВт·год	$Q_{H,ht}$, кВт·год	$Q_{H,sol}$, кВт·год	$Q_{H,int}$, кВт·год	$Q_{H,gn}$, кВт·год	γ_H	$\eta_{H,gn}$	$Q_{H,nd}$, кВт·год
Січень	8701	8644	17345	1373	2704	4077	0,232	0,97	8441
Лютий	7509	7460	14696	1902	2611	4513	0,301	0,96	6435
Березень	6693	6650	13343	2980	2798	5778	0,433	0,92	3809
Квітень	3750	3726	7476	3246	2704	5950	0,796	0,78	834
Травень	1691	1680	3371	4079	2611	6690	1,985	0,45	
Червень	580	576	1156	3956	2611	6567	5,681	0,17	
Липень	70	70	140	4060	2891	6951	49,65	0,02	
Серпень	352	350	702	3877	2798	6675	9,509	0,1	
Вересень	2080	2066	4146	3255	2798	6053	1,46	0,56	
Жовтень	4192	4165	8357	2217	2798	5015	0,6	0,85	1201
Листопад	6171	6130	12301	1030	2798	3828	0,311	0,96	4228
Грудень	7926	7874	15800	927	2798	3725	0,236	0,97	7321
Всього за рік									32269

Таблиця 3.14 – Розрахунок енергопотребы для охолодження

Місяць	Параметри								
	$Q_{C,tr}$, кВт·год	$Q_{C,ve}$, кВт·год	$Q_{C,ht}$, кВт·год	$Q_{C,sol}$, кВт·год	$Q_{C,int}$, кВт·год	$Q_{C,gn}$, кВт·год	γ_C	$\eta_{C,gn}$	$Q_{C,nd}$, кВт·год
Січень	7374	9614	16988	1373	2704	4077	0,24	0,24	
Лютий	6413	8362	14775	1902	2611	4513	0,305	0,3	
Березень	5959	7769	13728	2980	2798	5778	0,421	0,4	
Квітень	3844	5012	8856	3246	2704	5950	0,672	0,57	
Травень	2433	3172	5605	4079	2611	6690	1,194	0,79	
Червень	1610	2099	3709	3956	2611	6567	1,771	0,89	3266
Липень	1291	1683	2974	4060	2891	6951	2,337	0,94	4155
Серпень	1490	1942	3432	3877	2798	6675	1,945	0,91	3552
Вересень	2667	3477	6144	3255	2798	6053	0,985	0,72	
Жовтень	4196	5471	9667	2217	2798	5015	0,519	0,47	
Листопад	5550	7237	12787	1030	2798	3828	0,299	0,29	
Грудень	6828	8902	15730	927	2798	3725	0,237	0,23	
Всього за рік									10973

7) Енергоспоживання при опаленні

Тривалість опалювального періоду прийнято згідно з ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 [44], становить 4224 годин.

Система опалення двотрубна виконана сталевими опалювальними приладами, встановленими під вікнами та обладнанні термостатичними клапанами.

Загальні тепловтрати підсистеми тепловіддачі/тепловиділення визначаються для кожного місяця за ДСТУ 9190:2022 [11], розрахункові коефіцієнти:

$$f_{\text{hydr}} = 1,0 \text{ - згідно з таблицею 18;}$$

$$f_{\text{im}} = 0,97 \text{ - згідно з п.15.4.2.1;}$$

$$f_{\text{rad}} = 1,0 \text{ - променева складова відсутня;}$$

$$\eta_{\text{ctr}} = 0,95, \eta_{\text{emb}} = 1,0, \eta_{\text{str1}} = 0,93, \eta_{\text{str2}} = 0,95 \text{ - згідно з таблицею 17;}$$

$$\eta_{\text{str}} = 0,5 \cdot (0,93 + 0,95) = 0,94;$$

$$\eta_{\text{em}} = 1 / (4 - (0,95 + 0,95 + 1)) = 0,9;$$

Середня температура теплоносія $\theta_m = 40^\circ\text{C}$ (температурний графік 45/35).

Температура оточуючого середовища для кондиціонованого об'єму $\theta = 20^\circ\text{C}$.

Додаткова енергія в підсистемі розподілення використовується на функціонування насосів. Використовуються генератори із стандартним об'ємом води.

Всі розрахунки наведені в таблицях 3.15 та 3.16.

Таблиця 3.17 – Розрахунок енергоспоживання при опаленні

Місяць	Параметри					
	$Q_{\text{H,nd}}$, кВт·год	$Q_{\text{H,em,ls}}$, кВт·год	$Q_{\text{H,em,in}}=Q_{\text{H,dis,out}}$, кВт·год	$Q_{\text{H,dis,in}}=Q_{\text{H,gen,out}}$, кВт·год	$Q_{\text{H,gen,ls}}$, кВт·год	$Q_{\text{H,use}}$, кВт·год
Січень	8441	647	9088	9685	-369	9316
Лютий	6435	494	6929	7480	-1301	6179
Березень	3809	292	4101	4723	-2906	1817
Квітень	834	64	898	1501	-924	577
Травень						

Продовження таблиці 3.15.

Червень						
Липень						
Серпень						
Вересень						
Жовтень	1201	92	1293	1825	-1123	702
Листопад	4228	324	4552	5005	-3080	1925
Грудень	7321	562	7883	8427	-1179	7248
Всього за рік	32269					27764

Таблиця 3.16 – Значення енергетичних потоків в підсистемі розподілення

Місяць	Параметри						
	$Q_{H,dis,out}$, кВт·год	$Q_{H,dis,ls}$, кВт·год	$Q_{H,dis,ls,nrbl}$, кВт·год	$Q_{H,dis,ls,rbl}$, кВт·год	$Q_{H,dis,ls,rvd}$, кВт·год	$Q_{H,dis,ls,nrvd}$, кВт·год	$Q_{H,dis,in}$, кВт·год
Січень	9088	4699	0	4699	4102	597	9685
Лютий	6929	4055	0	4055	3504	551	7480
Березень	4101	3615	0	3615	2993	622	4723
Квітень	898	2025	0	2025	1422	603	1501
Травень							
Червень							
Липень							
Серпень							
Вересень							
Жовтень	1293	2264	0	2264	1732	532	1825
Листопад	4552	3332	0	3332	2879	453	5005
Грудень	7883	4281	0	4281	3737	544	8427

8) Енергоспоживання при охолодженні

Проектом передбачено систему охолодження, у вигляді охолодження води до 16/20 градусів в системі опалення від ККБ (компресорно-конденсаторного блоку) класу енергоефективності А ($\eta_{C,ac}=99\%$). Охолодження відбувається шляхом циркуляції холодоагенту в замкнутій системі кондиціонування.

Річні тепловтрати підсистемою розподілення охолодження, кВт·год,

визначають за формулою:

$$Q_{c,dis,ls} = Q_{c,nd}((1 - \eta_{c,ce}) + (1 - \eta_{c,ce,sens}) + (1 - \eta_{c,d})), \quad (3.30)$$

$$Q_{c,dis,ls} = 10973 \cdot ((1 - 1) + (1 - 0,9) + (1 - 1)) = 1097 \text{ кВт}\cdot\text{год.}$$

Загальну енергію виходу з підсистем виробництва/генерування та акумулювання, кВт·год, розраховують за формулою:

$$Q_{c,get,out} = \frac{Q_{c,dis,in}}{\eta_{c,ac}}, \quad (3.31)$$

$$Q_{c,get,out} = \frac{10973+1097}{0,99} = 12192 \text{ кВт}\cdot\text{год.}$$

Загальні тепловтрати підсистеми виробництва/генерування розраховуються за формулою.

$$Q_{c,get,ls} = \frac{Q_{c,gen,out}(1 - \eta_{c,gen})}{\eta_{c,gen}}, \quad (3.32)$$

$$Q_{c,get,ls} = \frac{12192(1-2,25)}{2,25} = -6773 \text{ кВт}\cdot\text{год.}$$

При цьому, ефективність підсистеми виробництва/генерування прийнята згідно з табл. 30 [11]: $\eta_{c,gen} = 2,25$.

Загальне енергоспоживання при охолодженні визначено згідно з формулою:

$$Q_{c,use} = Q_{c,get,out} + Q_{c,get,ls}, \quad (3.33)$$

$$Q_{c,use} = 12192 - 6773 = 5419 \text{ кВт}\cdot\text{год.}$$

Додаткову енергію для підсистеми тепловіддачі/виділення системи охолодження визначено при питомих потребах в енергії вентиляторів 0,04кВт·год/кВт·год (згідно табл. 28 [11]):

$$W_{c,em,aux} = f_{c,em,aux} \cdot Q_{c,get,out} \cdot \frac{t_{c,op}}{1000}, \quad (3.34)$$

$$W_{c,em,aux} = 0,04 \cdot 12192 \cdot \frac{829}{1000} = 404 \text{ кВт}\cdot\text{год.}$$

Враховуючи відсутність підсистеми розподілення річна кількість додаткової енергії при охолодженні розрахована згідно з формулою становить:

$$W_{c,em,an} = W_{c,em,aux} + W_{c,dis,aux,an}, \quad (3.35)$$

$$W_{c,em,an} = 404 + 0 = 404 \text{ кВт}\cdot\text{год.}$$

9) Енергоспоживання на потреби гарячого водопостачання

Питомі річні енергопотреби на гаряче водопостачання (ГВП) прийняті згідно з табл. 33 [11]: 10 кВт·год/м². Загальні енергопотреби ГВП становлять:

$$Q_{DHW,need} = 10 \cdot 768 = 7680 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Система ГВП будівлі передбачена із циркуляційним контуром, температура води 55 °С. Трубопроводи подачі діаметром 20-25 мм, теплоізовані.

Тепловтрати розподільчими трубопроводами протягом опалювального періоду:

$$Q_{W,dis,ls,Hp} = (0,3 \cdot 36 \cdot (55-20) + 0,2 \cdot 0 \cdot (55-5)) \cdot 1257/1000 = 469 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Тепловтрати розподільчими трубопроводами поза періодом опалення:

$$Q_{W,dis,ls,Cp} = (0,3 \cdot 36 + 0,2 \cdot 0) \cdot (55 - 25) \cdot 1350/1000 = 431 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Загальні тепловтрати розподільчими трубопроводами від водонагрівача до водорозбору:

$$Q_{W,dis,ls} = Q_{W,dis,ls,Hp} + Q_{W,dis,ls,Cp} = 469 + 431 = 900 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Тепловтрати циркуляційними трубопроводами протягом опалювального періоду:

$$Q_{W,dis,ls,Hp} = [0,3 \cdot 15 \cdot (55-20) + 0,2 \cdot 0 \cdot (55-5)] \cdot 1257/1000 = 198 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Тепловтрати циркуляційними трубопроводами поза періодом опалення:

$$Q_{W,dis,ls,Cp} = [(0,3 \cdot 15 + 0,2 \cdot 0) \cdot (55-25)] \cdot 1350/1000 = 182 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Загальні тепловтрати циркуляційними трубопроводами від водонагрівача до водорозбору гарячої води користувача:

$$Q_{W,dis,ls} = Q_{W,dis,ls,Hp} + Q_{W,dis,ls,Cp} = 198 + 182 = 380 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Тепловтрати поза періодом опалення;

$$Q_{W,dis,ls,col,off,Hp} = (0,005 \cdot (55-20) + 0 \cdot (55-5)) \cdot 1150 \cdot 176 \cdot 2/1000 = 71 \text{ кВт} \cdot \text{год} -$$

Загальні тепловтрати трубопроводів циркуляційного контуру протягом періодів відсутності циркуляції:

$$Q_{W,dis,ls,col,off,Cp} = ((0,005 + 0) \cdot (55-25)) \cdot 1150 \cdot 189 \cdot 2/1000 = 65 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Додаткові втрати теплоти при зливанні непрогрітої води з системи ГВП

згідно з табл. 34 [11] $\eta_{eq} = 0 \%$, відповідно, $Q_{W,em,ls} = 7680 \cdot 0 / 100 = 0$ кВт·год.

Річний обсяг енергоспоживання на потреби ГВП:

$$Q_{DHW,use} = (7680 + 469 + 431 + 198 + 182 + 71 + 65 + 0) / 2,6 = 3498 \text{ кВт} \cdot \text{год},$$

де $\eta_{H,gen} = 260 \%$ - ефективність підсистеми генерування теплоти за табл. 26 [11] для теплового насосу повітря-вода.

В системі ГВП передбачено один насос потужністю 0,112 кВт. Додаткова енергія для системи ГВП є енергією для циркуляційного насосу:

$$W_{W,dis,aux} = P_{pmp} \cdot t_{pmp} \cdot N = 0,112 \cdot 1 \cdot 24 \cdot 365 = 981 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

Загальний обсяг енергоспоживання на потреби ГВП:

$$DHW_{total\ use} = Q_{DHW,use} + W_{W,dis,aux} = 3498 + 981 = 4479 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

10) Енергоспоживання при вентиляції

Основне енергоспоживання системи вентиляції здійснюється вентиляторами. Засобів для зволоження або осушення припливного повітря в системі вентиляції не передбачено. Питому потужність вентиляторів системи механічної вентиляції (SFP) приймають згідно з таблицею 32, яка становить:

- для припливно-витяжної вентиляції із попереднім підігрівом/охолодженням та блоком рекуператції: $SFP = 4 \text{ кВт}/(\text{м}^3/\text{с})$;
- для припливної вентиляції із попереднім підігрівом/охолодженням: $SFP = 2 \text{ кВт}/(\text{м}^3/\text{с})$;
- для витяжної вентиляції: $SFP = 1 \text{ кВт}/(\text{м}^3/\text{с})$.

Об'ємна витрата повітря в системі механічної вентиляції визначається через кратність повітрообміну, визначену з об'ємів внутрішніх приміщень:

- для періоду опалення:

$$P_{el,H} = \frac{q_{ve,H} \cdot SFP}{3600}, \quad (3.36)$$

$$P_{el,H} = \frac{4 \cdot 1860 + 2 \cdot 3070 + 1 \cdot 2880}{3600} = 4,58 \text{ кВт},$$

- для періоду охолодження:

$$P_{el,C} = \frac{q_{ve,C} \cdot SFP}{3600}, \quad (3.37)$$

$$P_{el,C} = \frac{4 \cdot 1860 + 2 \cdot 3070 + 1 \cdot 2880}{3600} = 4,58 \text{ кВт.}$$

Енергоспоживання вентиляторів розраховується за формулою з урахуванням часу роботи системи вентиляції відповідно до графіку використання будівлі:

$$Q_{V,use} = Q_{V,sys,fan} = P_{el,H} \cdot t_{V,H} + P_{el,C} \cdot t_{V,C}, \quad (3.38)$$

$$Q_{V,use} = Q_{V,sys,fan} = 4,58 \cdot \left(\frac{50}{168}\right) \cdot 24 \cdot (176 - 6) + 4,58 \cdot \left(\frac{50}{168}\right) \cdot (8460 - 24 \cdot 176 - 6 \cdot 24) = 11941 \text{ кВт}\cdot\text{год.}$$

11) Енергоспоживання при освітленні

Електрична потужність системи освітлення становить 4,0 кВт при використанні енергоефективних ламп. Питома потужність встановленого штучного освітлення в будівлі становить: $P_N = 5,21 \text{ Вт/м}^2$.

Енергія, необхідна для виконання функції штучного освітлення W_L розраховується згідно з формулою:

$$W_L = (P_N \cdot F_C)[(t_D \cdot F_o \cdot F_D) + (t_N \cdot F_o)] \cdot A_f / 1000, \quad (3.39)$$

$$W_L = (5,21 \cdot 0,9)((2250 \cdot 0,9 \cdot 0,9) + (250 \cdot 0,9)) \frac{768}{1000} = 7373 \text{ кВт}\cdot\text{год.}$$

Загальна встановлена питома потужність заряду акумуляторів світильників аварійного освітлення визначаються згідно табл. 35 ДСТУ 9190:2022 $P_{em} = 1 \text{ кВт}\cdot\text{год/м}^2$. Загальна встановлена питома потужність усіх систем управління приладами освітлення зони в час, коли лампи не використовують визначаються згідно таблиці 35 [11] $P_{pc} = 5 \text{ кВт}\cdot\text{год/м}^2$.

Паразитна енергія, що необхідна для забезпечення заряду акумуляторів світильників аварійного освітлення та енергія для управління і регулювання освітленням в будівлі розраховується згідно з формулою:

$$W_P = P_{em} \cdot A_{em} + P_{pc} \cdot A_{pc}, \quad (3.40)$$

$$W_P = (1 + 5) \cdot 464,84 = 2789 \text{ кВт}\cdot\text{год.}$$

Річний обсяг енергоспоживання при освітленні:

$$W_{use} = W_L + W_P, \quad (3.40)$$

$$W_{use} = 7373 + 2789 = 10162 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

12) Визначення первинної енергії та викидів парникових газів

Первинна енергія, обчислюється для кожного енергоносія та розраховується за формулою методики визначення енергоефективності будівель (наказ №169 Мінрегіону [6], зі змінами [7]).

$$E_p = \sum(E_{del,i} \cdot f_{P,del,i}) - \sum(E_{exp,i} \cdot f_{P,exp,i}), \quad (3.41)$$

$$E_p = 2,3 \cdot (27764 + 5419 + 3498 + 11941 + 10162 + 1558) - 2,3 \cdot 0 = 138787 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Питомий показник споживання первинної енергії:

$$e_p = \frac{E_p}{A_f}, \quad (3.42)$$

$$e_p = \frac{825867}{768} = 180,71 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{м}^2.$$

Маса викидів парникових газів, розраховується з поставленої та експортованої енергії для кожного енергоносія за формулою:

$$m_{CO_2} = \frac{\sum(E_{del,i} \cdot K_{del,i})}{1000} - \frac{\sum(E_{exp,i} \cdot K_{exp,i})}{1000}, \quad (3.43)$$

$$m_{CO_2} = [420 \cdot (27764 + 5419 + 3498 + 11941 + 10162 + 1558)] / 1000 - [420 \cdot 0] / 1000 = 25344 \text{ кг.}$$

Питомий показник викидів парникових газів:

$$M_{CO_2} = \frac{m_{CO_2}}{A_f}, \quad (3.44)$$

$$M_{CO_2} = \frac{25344}{768} = 33 \text{ кг} / \text{м}^2.$$

13) Клас енергоефективності за сценаріями

Граничне значення питомого енергоспоживання при опаленні та охолодженні:

$$EP_p = 38 \cdot 0,54 + 15 = 35,52 \text{ кВт} \cdot \text{тод} / \text{м}^3$$

Визначення відсоткової різниці між фактичною та граничним значенням енергоспоживання за сценарієм 2:

$$\Delta EP = [(EP_{use} - EP_p) / EP_p] \cdot 100\% = [(14,496 - 35,52) / 35,52] \cdot 100\% = -59,19 \%$$

Згідно [7] будівля відноситься до класу енергоефективності «А».

За розробленою в Excel математичною моделлю були проведені аналогічні розрахунки, результати зведено до табл. 3.17.

Таблиця 3.17 – Результати обчислень енергоспоживання та класу енергоефективності для двох сценаріїв

Показник	Од. виміру	Сценарій 1	Сценарій 2
Опір теплопередачі	м ² ·К/Вт		
- стін		4	4,18
- світлопрозорі огороження		0,9	1,07
- покриття		7,02	7,98
Річне сумарне споживання енергії	тис. кВт·год [кВт·тод/м ³]	76,419 [33,385]	58,784 [25,681]
Загальний показник питомого енергоспоживання при опаленні та охолодженні	[кВт·тод/м ³]	[35,3]	[14,496]
Клас енергоефективності	-	С	А

3.3 Оцінка тепловологісного стану конструкції

Тепловологісний стан зовнішніх огорожувальних конструкцій визначається згідно ДСТУ Б В.2.6-192:2013 [14].

Необхідність оцінки тепловологісного стану при проектуванні зовнішніх огорожень для визначення заходів щодо:

- запобігання можливості зволоження матеріалів огорожувальної конструкції;
- уникнення можливості конденсації водяної пари на внутрішній поверхні огорожувальної конструкції;
- запобігання можливості конденсації водяної пари в товщі огорожувальної конструкції;
- забезпечення умови від'ємного або нульового річного балансу вологи в товщі огорожувальних конструкцій (умови виведення за період вологовіддачі всієї вологи, що сконденсувалася за період вологонакопичення).

Оскільки внутрішній шар огороження зовнішньої стіни паронепроникний, волога зі сторони приміщення не надходитиме до огорожувальної конструкції, тому перевірку на конденсацію вологи в товщі конструкції не проводимо.

Наведемо характеристики суміщеного покриття за сценарієм 2 для подальших обчислень (табл. 3.18).

Розрахункова температура внутрішнього повітря $\theta_{int} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$, відносна вологість повітря $\varphi_{int} = 50\%$.

Згідно з табл. Б.1 дод. Б [14] визначаються парціальні тиски насиченої водяної пари внутрішнього та зовнішнього повітря:

$E_B = 2340 \text{ Па}$ – при температурі внутрішнього повітря $20 \text{ }^\circ\text{C}$;

$E_3 = 412 \text{ Па}$ – при температурі зовнішнього повітря $-4,7 \text{ }^\circ\text{C}$ (в січні).

$\varphi_3 = 83\%$ – відносна вологість зовнішнього повітря (в січні).

Таблиця 3.18 – Склад суміщеного перекриття (сценарій 2)

№ п/п	Назва шару конструкції	Товщина, мм	Теплопровідність λ , Вт/(м·К)	Термічний опір, $\frac{м^2 \cdot К}{Вт}$	Коефіцієнт паропроникн.	Опір паропроникн.
1	Залізобетон	200	2,04	0,098	0,03	6,667
2	Бітумна мастика	2	0,22	0,009	0,008	0,25
3	Мінеральні плити (густина 135 кг/м ³)	200	0,039	5,128	0,43	0,465
4	Мінеральні плити (густина 190 кг/м ³)	100	0,040	2,5	0,31	0,323
5	Гідроплівка	1	0,23	0,004	0,00011	9,091
6	Стяжка із цементно-піщаного розчину	50	0,93	0,54	0,09	0,556
7	Гідроізоляція	8	0,17	0,047	0,001	8

Визначаємо парціальні тиски водяної пари внутрішнього та зовнішнього повітря:

$$e_B = 0,01 \varphi_{int} E_B = 0,01 \cdot 50 \cdot 2340 = 1170 \text{ Па};$$

$$e_3 = 0,01 \varphi_3 E_3 = 0,01 \cdot 83 \cdot 412 = 342 \text{ Па}.$$

Визначаємо розподіл температур $\theta(x)$, °С, по товщині конструкції за формулою:

$$M_{CO_2} \theta(x) = \theta_{int} - \frac{\theta_{int} - \theta_{зов}}{R_\Sigma} \left(\frac{1}{h_{si}} + R_x \right), \quad (3.45)$$

де θ_{int} - внутрішня температура приміщення, °С;

$\theta_{зов}$ - розрахункова температура зовнішнього повітря, °С, визначається як середня місячна температура повітря;

R_Σ - опір теплопередачі огорожувальної конструкції (однорідної частини), (м²·К)/Вт;

h_{si} - коефіцієнт тепловіддачі внутрішньої поверхні огорожувальної конструкції, Вт/(м²·К);

R_x - опір теплопередачі частини огорожувальної конструкції, що розташована між внутрішньою поверхнею та площиною, для якої проводиться розрахунок, (м²·К)/Вт.

Визначаємо розподіл температур $\theta(x)$, °С, по товщині конструкції:

- для внутрішньої поверхні: $\theta(1) = 20 - [(20 - (-4,7))/7,98] \cdot (1/10) = 19,7^\circ\text{C}$;

- на межі 1-го та 2-го шару: $\theta(2) = 20 - [(20 - (-4,7))/7,98] \cdot (1/10 + 0,098) = 19,4^\circ\text{C}$;

- на межі 2-го та 3-го шару: $\theta(3) = 20 - [(20 - (-4,7))/7,98] \cdot (1/10 + 0,098 + 0,009) = 19,4^\circ\text{C}$;

- на межі 3-го та 4-го шару: $\theta(4) = 20 - [(20 - (-4,7))/7,98] \cdot (1/10 + 0,098 + 0,009 + 5,128) = 3,5^\circ\text{C}$;

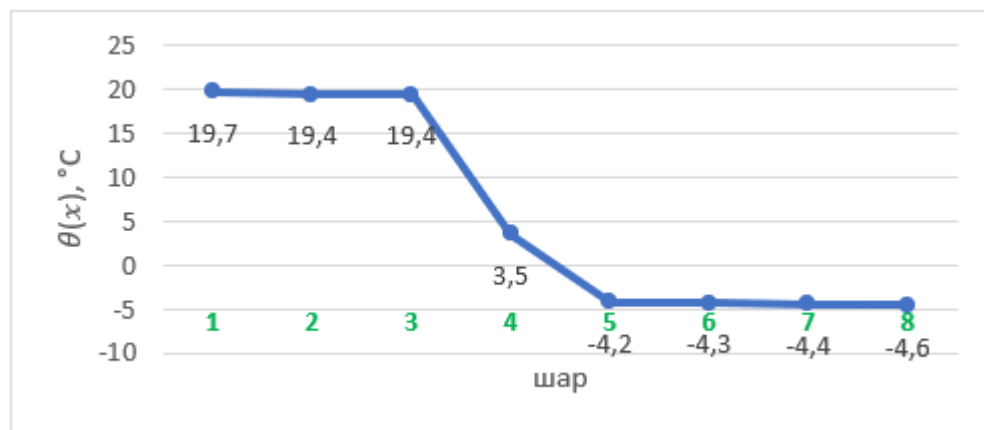
- на межі 4-го та 5-го шару: $\theta(5) = 20 - [(20 - (-4,7))/7,98] \cdot (1/10 + 0,098 + 0,009 + 5,128 + 2,5) = -4,2^\circ\text{C}$;

- на межі 5-го та 6-го шару: $\theta(6) = 20 - [(20 - (-4,7))/7,98] \cdot (1/10 + 0,098 + 0,009 + 5,128 + 2,5 + 0,004) = -4,3^\circ\text{C}$;

- на межі 6-го та 7-го шару: $\theta(7) = 20 - [(20 - (-4,7))/7,98] \cdot (1/10 + 0,098 + 0,009 + 5,128 + 2,5 + 0,004 + 0,054) = -4,4^\circ\text{C}$;

- на зовнішній поверхні 7-го шару: $\theta(8) = 20 - [(20 - (-4,7))/7,98] \cdot (1/10 + 0,098 + 0,009 + 5,128 + 2,5 + 0,004 + 0,054 + 0,047) = -4,6^\circ\text{C}$.

Покажемо розподіл температур на рисунку 3.1.



Рисинок 3.1 – Розподіл температур у товщі суміщеного перекриття (січень)

У масштабі опорів паропроникненню будемо залежність парціального тиску насиченої водяної пари та парціального тиску водяної пари.

Кількість водяної пари i_B , мг/(м²·год), що виводиться назовні із сторони приміщення:

$$i_B = \frac{e_B - p_k}{R_{eB}}, \quad (3.46)$$

$$i_B = \frac{1170-430}{7,705} = 96,04 \text{ мг/(м}^2\cdot\text{год)}.$$

Кількість водяної пари i_3 , мг/(м²·год), що виводиться назовні із зони конденсації:

$$i_3 = \frac{p_k - e_3}{R_{e3}}, \quad (3.47)$$

$$i_3 = \frac{430-342}{25,352-7,705} = 4,99 \text{ мг/(м}^2\cdot\text{год)}.$$

Кількість вологи W , кг/м², що конденсується в конструкції за січень:

$$W = \tau \cdot (i_B - i_3) 10^{-6}, \quad (3.48)$$

$$W = 744 \cdot (96,04 - 4,99) \cdot 10^{-6} = 0,068 \text{ мг/(м}^2\cdot\text{год)}.$$

Виконуючи подібні розрахунки для інших місяців періоду вологонакопичення (у даному випадку січень, лютий, березень, листопад і грудень), отримаємо значення кількості вологи, що сконденсувалась в огорожувальній конструкції кожного місяця та за весь період вологонакопичення.

Проводимо розрахунки для першого місяця періоду вологовіддачі - квітня. Аналогічно визначаємо парціальні тиски насиченої водяної пари E :

$$E_B = 2340 \text{ Па} - \text{при температурі внутрішнього повітря } 20 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$E_3 = 1148 \text{ Па} - \text{при температурі зовнішнього повітря } -9 \text{ }^\circ\text{C} \text{ (в квітні)}.$$

$$\varphi_3 = 66\% - \text{відносна вологість зовнішнього повітря (в квітні)}.$$

Визначаємо парціальні тиски водяної пари внутрішнього та зовнішнього повітря:

$$e_B = 0,01\varphi_{int} E_B = 0,01 \cdot 50 \cdot 2340 = 1170 \text{ Па};$$

$$e_3 = 0,01\varphi_3 E_3 = 0,01 \cdot 66 \cdot 1148 = 758 \text{ Па}.$$

Визначаємо розподіл температур $\theta(x)$, °С

- для внутрішньої поверхні: $\theta(1) = 20 - [(20 - 9)/7,98] \cdot (1/10) = 19,9$ °С;

- на межі 1-го та 2-го шару: $\theta(2) = 20 - [(20 - 9)/7,98] \cdot (1/10 + 0,098) = 19,7$ °С;

- на межі 2-го та 3-го шару: $\theta(3) = 20 - [(20 - 9)/7,98] \cdot (1/10 + 0,098 + 0,009) = 19,7$ °С;

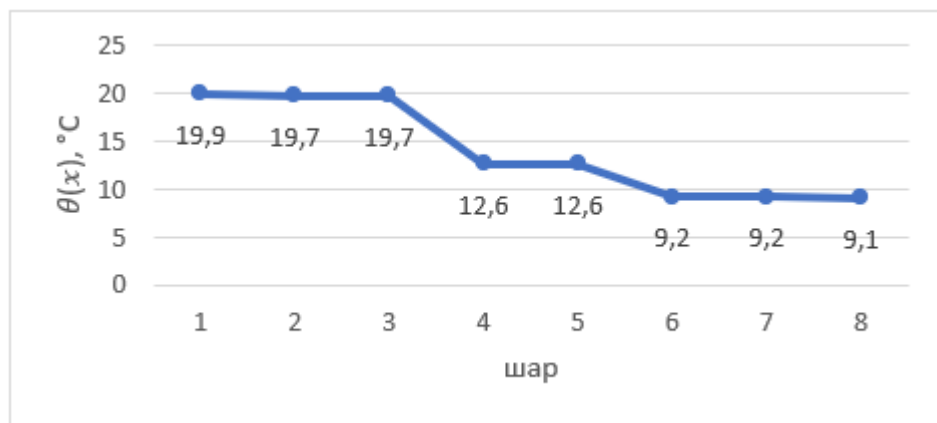
- на межі 3-го та 4-го шару: $\theta(4) = 20 - [(20 - 9)/7,98] \cdot (1/10 + 0,098 + 0,009 + 5,128) = 12,6$ °С;

- на межі 4-го та 5-го шару: $\theta(5) = 20 - [(20 - 9)/7,98] \cdot (1/10 + 0,098 + 0,009 + 5,128 + 2,5) = 12,6$ °С;

- на межі 5-го та 6-го шару: $\theta(6) = 20 - [(20 - 9)/7,98] \cdot (1/10 + 0,098 + 0,009 + 5,128 + 2,5 + 0,004) = 9,2$ °С;

- на межі 6-го та 7-го шару: $\theta(7) = 20 - [(20 - 9)/7,98] \cdot (1/10 + 0,098 + 0,009 + 5,128 + 2,5 + 0,004 + 0,054) = 9,2$ °С;

- на зовнішній поверхні 7-го шару: $\theta(8) = 20 - [(20 - 9)/7,98] \cdot (1/10 + 0,098 + 0,009 + 5,128 + 2,5 + 0,004 + 0,054 + 0,047) = 9,1$ °С.



Рисинок 3.2 – Розподіл температур у товщі суміщеного перекриття (квітень)

Кількість водяної пари i_3 , мг/(м²·год), що виводиться назовні із сторони приміщення:

$$i_B = \frac{e_B - p_K}{R_{eB}}, \quad (3.49)$$

$$i_B = \frac{1170 - 1163}{7,705} = 0,91 \text{ мг/(м}^2 \cdot \text{год)}.$$

Кількість водяної пари i_3 , мг/(м²·год), що виводиться назовні із зони конденсації:

$$i_3 = \frac{p_k - e_3}{R_{e3}}, \quad (3.50)$$

$$i_3 = \frac{1156 - 758}{25,352 - 7,705} = 22,95 \text{ мг/(м}^2 \cdot \text{год)}.$$

Кількість вологи W , кг/м², що випаровується з конструкції за квітень:

$$W = \tau \cdot (i_3 - i_b) 10^{-6}, \quad (3.50)$$

$$W = 720 \cdot (22,95 - 0,91) \cdot 10^{-6} = 0,016 \text{ мг/м}^2.$$

Проводимо розрахунки для всіх місяців періоду випаровування вологи, зводимо результати до таблиці 3.18.

Таблиця 3.18 - Річний баланс вологи в товщі огородження

Місяць	Кількість вологи, що сконденсувались, кг/м ²	Кількість вологи, що випарувалась із зони конденсації, кг/м ²
Січень	0,068	0
Лютий	0,057	0
Березень	0,04	0
Квітень	0	0,016
Травень	0	0,083
Червень	0	0,115
Липень	0	0,14
Серпень	0	0,129
Вересень	0	0,057
Жовтень	0	0,004
Листопад	0,037	0
Грудень	0,059	0
	$\Sigma = 0,261$	$\Sigma = 0,544$

За проведеними розрахунками встановлено, що в конструкції суміщеного перекриття процес конденсації водяної пари відбувається протягом січня,

лютого, листопаду та грудня; в інші місяці року відбувається випаровування вологи, що сконденсувалась. При цьому встановлено, що за перші чотири місяці після закінчення процесів конденсації (квітень, травень, червень та липень) випаровується вся волога, що сконденсувалась за місяці конденсації, отже умова $W_{зп}=0,261 \text{ мг/м}^2 \leq W_{шт,}=0,544 \text{ мг/м}^2$ виконується. Оцінюємо збільшення вологості матеріалу у товщині шару конструкції, в якому може відбуватися конденсація вологи, за холодний період року. В даному випадку зволожується шар теплоізоляції, оскільки він є прилеглим до зони конденсації.

Для виробів із мінеральної вати допустиме значення збільшення вологості $\Delta w_d = 2,5\%$ згідно таблиці 5 ДБН В.2.6-31:2021 [9].

$$\Delta w = \frac{W_{зп}}{\delta_k \cdot \rho_k} \cdot 100\%, \quad (3.51)$$

$$\Delta w = \frac{0,261}{0,1 \cdot 190} 100\% = 1,374\%.$$

$\Delta w = 1,374 \leq \Delta w_d = 2,5\%$, отже умова виконується.

3.4 Моделювання енергоспоживання будівлі в E-Audit

Програма E-Audit [40] дозволяє виконувати енергоефективні розрахунки будівлі враховуючи методику ДСТУ 9190:2022 [11]. E-Audit та подібні до нього програмні засоби призначені для автоматизації, прискорення проведення аудитів та оцінювання ефекту від провадження різних енергоефективних заходів.

У процесі роботи програм E-audit формується цифрова модель об'єкта, яка відображає його просторово-геометричні характеристики, конструктивні особливості та параметри інженерних систем. Модель є основою для подальших розрахунків і дозволяє враховувати взаємодію між огорожувальними конструкціями, внутрішнім мікрокліматом та режимами експлуатації будівлі. Введені дані проходять логічний і нормативний контроль, що забезпечує їх відповідність чинним будівельним нормам і стандартам у сфері енергоефективності [40, 45].

На основі отриманих даних, програма проводить розрахунок енергетичного балансу об'єкта. Визначається обсяг тепловтрат, потреба в енергії для опалення, вентиляції, кондиціонування та ГВП, а також питомі показники енергоспоживання. Отримані результати дозволяють кількісно оцінити рівень енергоефективності будівлі та встановити її відповідність нормативним класам енергетичної ефективності [40, 45].

Завершальним етапом роботи програм E-audit є формування аналітичної та звітної документації. Програмне забезпечення автоматично генерує звіт енергетичного аудиту, який містить результати розрахунків, обґрунтування запропонованих заходів та оцінку очікуваного ефекту від їх реалізації. Така документація може використовуватися як для наукового аналізу, так і для практичного впровадження рішень у сфері підвищення енергоефективності будівель [40, 45].

На рисунку 3.3 наведена послідовність виконання розрахунків у програмі E-audit.

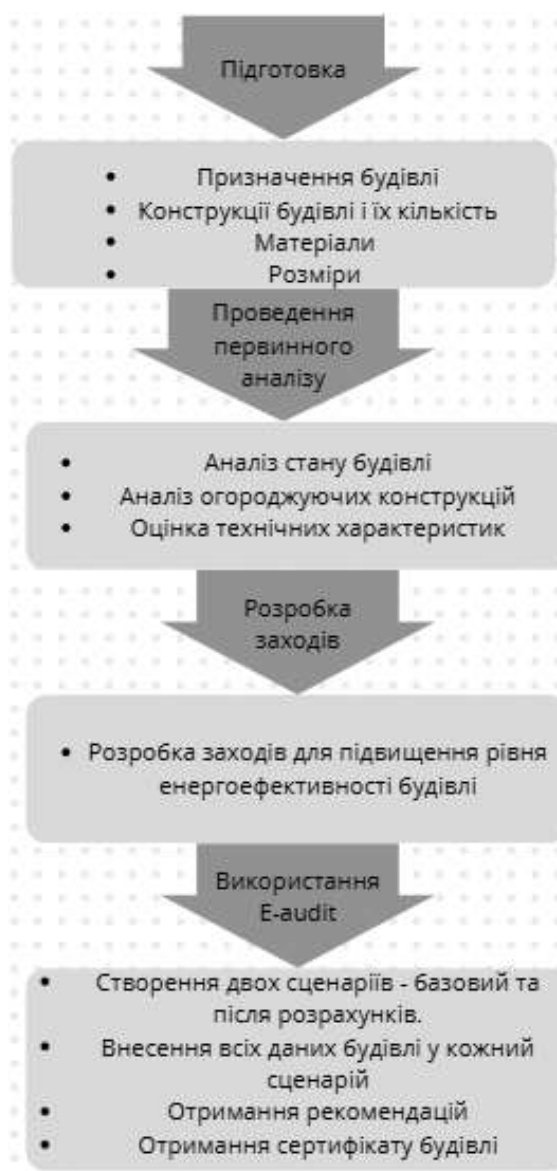


Рисунок 3.3 – Блок-схема роботи в програмі E-audit

На рисунку 3.4 наведено стартове вікно програми.

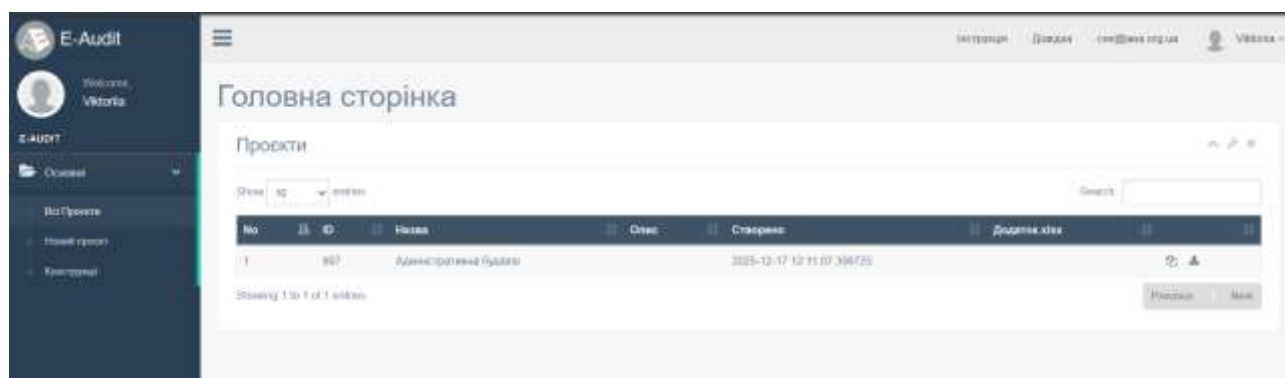


Рисунок 3.4 – Стартове вікно програми [40]

На рисунку 3.5-3.9 наведено вікна розрахунку енергоефективності двох сценаріїв за допомогою програми [40].

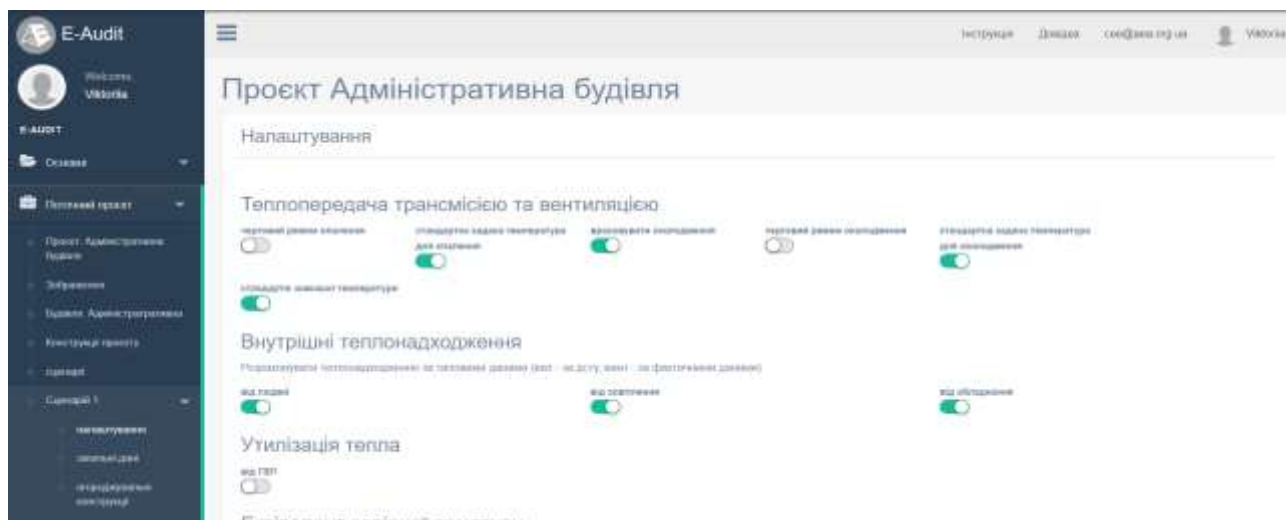


Рисунок 3.5 – Налаштування для сценарія 1

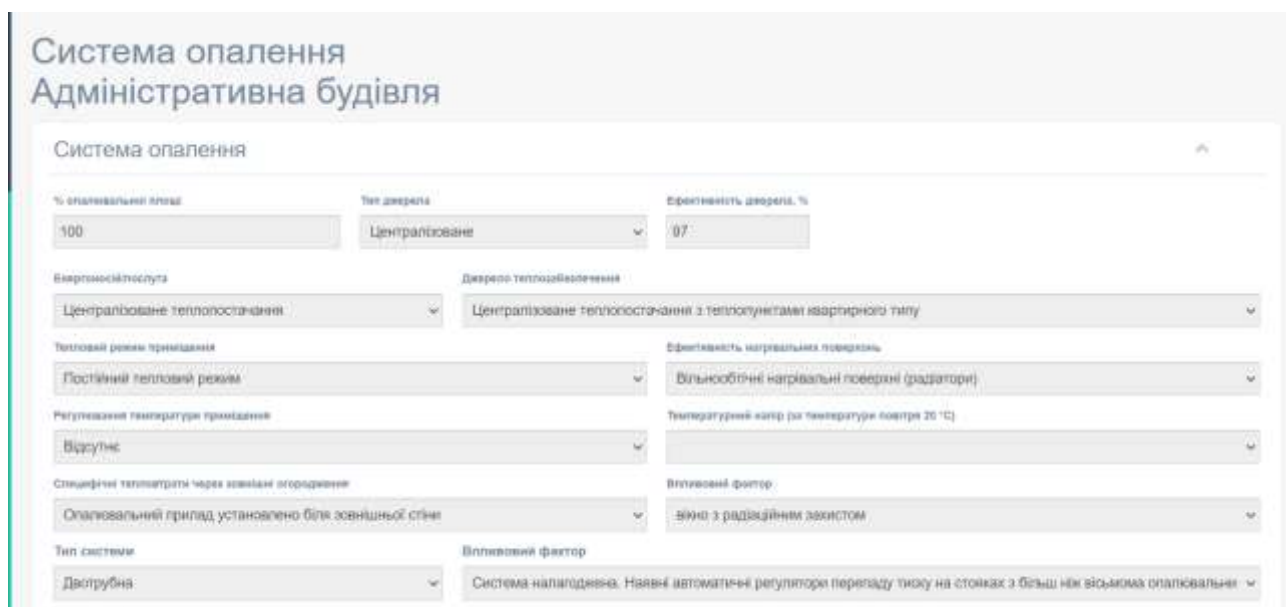


Рисунок 3.6 – Система опалення для сценарія 1

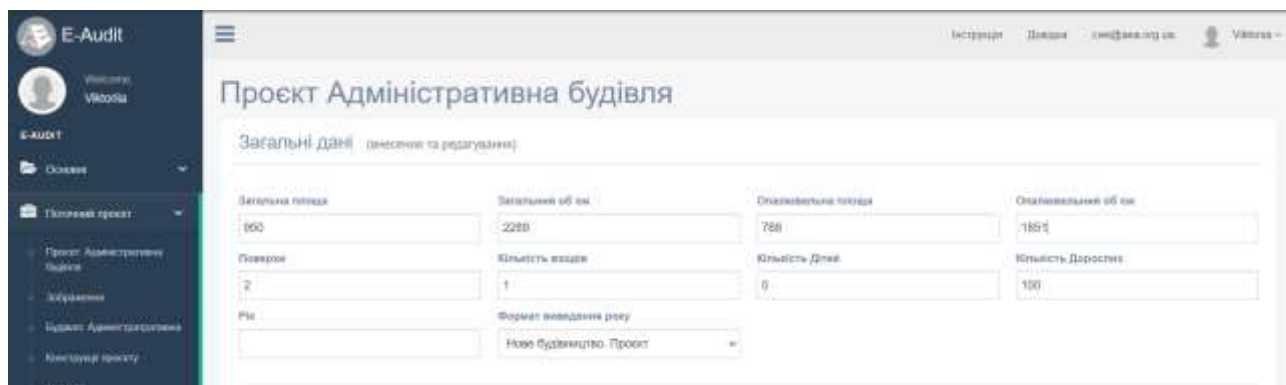


Рисунок 3.7 – Загальні дані будівлі за сценарієм 2

Система опалення
Адміністративна будівля

Система опалення

% опалювальної площі: 100

Тип джерела: Навітряне/підземне

Ефективність джерела, %: 280

Енергоносіячість:

Електрична енергія (вироблена на місці з альтернатив) / Теплова насосна тепота повітря/води, компресор з електроприводом 55/45° C

Типовий режим управління: Періодичний тепловий режим з регулюванням, що має інтегровану зворотну зв'язок

Принцип роботи нагрівальних колекторів: Вільнообігні нагрівальні поверхні (радіатори)

Регулювання температури управління: П-регулювання з оптимізацією (нагрівач, наявність датчиків/чирпаків, адаптовано) / Програмований нагрів (за температури повітря 20 °C)

Специфічне теплопостачання через товщині опалення: Опалювальний прилад установлений біля зовнішньої стіни

Вологий фактор: Ніко з радіаційним зовнішнім

Тип системи: Диструбутив

Вологий фактор: Система нагрівається. Наявне автоматичне регулювання перепаду тиску в терморегуляторі або електронних регул'

Додати систему управління

Рисунок 3.8 – Система опалення будівлі за сценарієм 2

Кондиціонування
Адміністративна будівля

Система кондиціонування

% опалювальної площі: 100

Тип кондиціонерної машини: Компресорна холодильна машина / 204

Ефективність машини, %: 225

%: 240

Енергоносіячість: A

Тип системи управління/регулювання: A

Система опалення: Прямий нагрівання

Тип вентиляторів системи опалення: Кондиціонери повітря призначені: Впрямі системи без...

Notification

Відключити

Рисунок 3.9 – Система кондиціонування будівлі за сценарієм 2

За отриманими результатами було проведено розрахунки і визначено клас енергоефективності для 2 сценаріїв.

Шкала класів енергоефективності		Клас енергетичної ефективності та питоме енергоспоживання	
	кВт·год/м ²		
	< 17,76		
	< 28,42		
	≤ 35,52	34,2	C
	≤ 42,62		
	≤ 47,95		
	≤ 53,28		
> 53,28			

Шкала класів енергоефективності		Клас енергетичної ефективності та питоме енергоспоживання	
	кВт·год/м ²	16,9	A
	< 17,76		
	< 28,42		
	≤ 35,52		
	≤ 42,62		
	≤ 47,95		
	≤ 53,28		
> 53,28			

Рисунок 3.10 – Клас енергоефективності визначений шляхом моделювання в програмному продукті E-audit за 1 та 2 сценарієм відповідно

Висновок до розділу 3

У третьому розділі було проведено основні розрахунки теплотехнічних і енергетичних характеристик та визначено питоме енергоспоживання будівлі за двома сценаріями: нове будівництво згідно з діючими вимогами щодо енергоефективності та будівництво згідно із новими вимогами [20].

За допомогою розробленої в Excel математичної моделі було виконано:

- розрахунок теплопередачі трансмісією та вентиляцією,
- визначено внутрішні теплонадходження і теплонадходження від сонця,
- враховано динамічні параметри, в тому числі теплову інерцію будівлі,
- визначено енергопотребу та енергоспоживання будівлі,

- визначено первинну енергію та викиди парникових газів.
- визначено клас енергоефективності для двох сценаріїв.

Для порівняння також було прораховано наведені вище параметри та визначено клас енергоефективності за допомогою програми E-audit, яку використовують енергоаудитори. Результати за даною програмою та ручним розрахунком майже збігаються, тобто знаходяться у межах 13%.

Зважаючи на те, що в сучасних будівлях, які мають високі опори теплопередачі огорожень, зростає актуальність питання дотримання вологісних умов експлуатації і запобігання можливості конденсації водяної пари як в товщині огороження, так і на внутрішній поверхні, для другого сценарію за діючими стандартами проведено оцінку тепловологісного стану зовнішніх огорожувальних конструкцій. В результаті показано, умови від'ємного річного балансу вологи в товщі огорожувальних конструкцій забезпечуються.

РОЗДІЛ 4 СТАРТАП- ПРОЄКТ: ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ В ПРОЄКТНОМУ МЕНЕДЖМЕНТІ ПРОЄКТІВ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ

4.1 Ідея проєкту

Зі зростання вартості енергетичних ресурсів, посиленням екологічних вимог та необхідності досягання цілей сталого розвитку актуальність набувають покращення управлінських процедур під час реалізації енергоефективних проєктів. Як вже було зазначено у першому розділі, поширюючи на власному прикладі енергоефективні практики для будівель і об'єктів комунального господарства, територіальна громада може стати прикладом для інших секторів і сприяти досягненню національних цілей з декарбонізації та зменшення енергетичної залежності нашої держави. Професійна реалізація проєктів в будівельному фонді з урахуванням діючих вимог енергоефективності, потребує наявності в територіальних громадах кваліфікованих фахівців з відповідними компетентностями. Проте багато громад стикаються з труднощами у впровадженні проєктів через відсутність досвіду, нестачу кваліфікованого персоналу, або через перезавантаженість працівників, що супроводжують проєкти підвищення енергоефективності [46]. Для ефективного реалізації проєктів і підвищення рівня системи управління незамінну роль відіграє проєктний менеджмент. Використання штучного інтелекту в проєктному менеджменті є досить перспективним, адже це дозволить спростити і автоматизувати процеси. Використання штучного інтелекту доцільно як на етапі підготовки заявок на отримання фінансування проєктів енергоефективності за державними або інвестиційними програмами, так і на етапі створення і організації роботи групи впровадження проєкту, створення календарного плану реалізації, управління ресурсами та витратами, створенні техніко-економічних обґрунтувань і т.д.

Ідея стартап-проєкту полягає у розробці цифрової платформи, яка буде забезпечувати підтримку фахівців територіальних громад на всіх етапах

життєвого циклу проєкту з метою покращення результативності виконання проєктів у сфері енергоефективності шляхом інтеграції методів штучного інтелекту. Це дозволить адаптувати управлінські рішення до специфіки конкретного об'єкта. Платформа орієнтована на підтримку користувачів у застосуванні інструментів проєктного менеджменту для створення заявок на фінансування, розробки техніко-економічних рішень під конкретні об'єкти та управління проєктами з урахуванням вимог діючої нормативної бази, вимог інвесторів та організаційних обмежень.

Основні завдання, які можна буде вирішувати за допомоги онлайн платформи:

- розробка заявок на отримання фінансування проєктів підвищення енергоефективності (включаючи розробку структурно-логічної матриці проєкту, попередні техніко-економічні розрахунки);
- техніко-економічне обґрунтування проєктів (фінансовий аналіз, оцінка інвестицій, аналіз ризиків, аналіз чутливості впливу вагомих факторів на економічні показники);
- підтримка процесів управління проєктами та ресурсами, формування групи впровадження проєкту, розподілу ролей і функцій в команді, розроблення матриці відповідальності (RACI), організаційної структури проєкту (органіграми) та календарного планування;
- формування пакету заходів з підвищення енергетичної ефективності для типових об'єктів на основі штучного інтелекту;
- контроль якості виконання будівельних і монтажних робіт, у тому числі із застосуванням цифрових чек-листів;
- моніторинг та аналіз результатів реалізації проєктів з оцінкою досягнутого енергетичного, економічного та екологічного ефекту.

Цільова аудиторія – особи, відповідальні за функціонування системи енергоменеджменту та впровадження проєктів підвищення енергоефективності (енергоменеджери, технічні спеціалісти, керівники комунальних підприємств та структурних підрозділів).

Загальна концепція проєкту зведена у таблиці 4.1, там наведені основні сфери застосування та вигоди для користувачів.

Таблиця 4.1 – Опис ідеї стартап-проєкту для територіальних громад

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Цифрова платформа підтримки	Проєкти термомодернізацій будівель ,модернізації інженерних систем ,впровадження ВДЕ	Скорочення часу підготовки та впровадження проєкту, підвищення обґрунтованості управлінських рішень
Інтелектуальна система аналізу технічних, фінансових та енергетичних даних	Проєкти з обмеженими ресурсами та багатокритеріальними умовами реалізації	Зменшення управлінських ризиків, підвищення точності планування витрат і результатів
Автоматизоване формування документації	Підготовка заявок на інвестиційні, грантові та бюджетні проєкти	Зниження трудомісткості підготовки документів, підвищення якості поданих заявок
Розробка шаблонів документів під різні проєкти	Розробка шаблонів: логічно-структурна рамки, календарного плану, матриці ризиків, органіграми, матриці RASI, таблиці контрольних показників проєктів (KPI) і т.п.	Розроблені рекомендації дозволять скоротити час на виконання подібних робіт
Прогнозування термінів, вартості та результатів енергоефективних заходів на основі попередніх проєктів	Проєкти з повторюваними або типовими технічними рішеннями	Підвищення достовірності прогнозів, запобігання перевищенню бюджету та строків
Підтримка управління ресурсами та командою проєкту з урахуванням ролей і відповідальності	Командні проєкти за участю органів влади, підрядників та експертів	Покращення координації учасників, прозорий розподіл відповідальності

Продовження таблиці 4.1.

Масштабування	Інші об'єкти комунальної	Формування бази знань
---------------	--------------------------	-----------------------

результатів на інші проекти	власності	та рекомендацій для майбутніх проектів
Система моніторингу виконання проекту та оцінки досягнутих енергетичних і результатів	Реалізовані та діючі проекти підвищення енергоефективності	Можливість оцінки ефективності проекту, підтвердження досягнутого ефекту
Підвищення інформованості громади	Навчальні програми і тренінги для відповідних категорій фахівців: юристи, енергоменеджери міст, керівники закладів, персонал, населення	Чітке розуміння послідовності дій, інформування фахівців і населення щодо процедури впровадження проектів і сучасних технологій

У таблиці 4.2 в свою чергу наведено оцінки сильних та слабких сторін, для порівняння використаємо різні способи використання інструментів проектного менеджменту, а саме: запропонований підхід та інші розрізнені джерела для різних управлінських задач (наприклад, для виконання SWOT-аналізу варіантів енергозабезпечення будівель різного призначення, для створення календарного плану у вигляді діаграми Ганта і т.і.).

Таблиця 4.2 – Оцінка сильних, слабких та нейтральних сторін проекту

Характеристика (техніко-економічна)	Мій проект	Інші	Ручний підхід	W	N	S
Інтеграція штучного інтелекту в управління енергоефективними проектами	Так	Обмежена аналітика	—			S
Охоплення повного життєвого циклу проекту	Повний життєвий цикл	Часткове охоплення	Фрагментарний підхід			S
Автоматизація управлінських рішень	Так	Низький рівень	—			S

Продовження таблиці 4.2.

Прогнозування	Інтелектуальне	Статистичні	Суб'єктивні			S
---------------	----------------	-------------	-------------	--	--	---

термінів і витрат проекту	прогнозування	оцінки	оцінки			
Підтримка підготовки фінансування та грантів	Повна підтримка	—	Ручна підготовка			S
Адаптація до різних типів об'єктів	Висока гнучкість	Середня	Обмежена			S
Інтеграція з існуючими системами обліку	Так	Так	—		N	
Необхідність спеціалізованого обладнання	—	Частково	—			S
Вартість впровадження та супроводу	Середня вартість	Середня вартість	Низька вартість		N	
Зручність	Інтуїтивний інтерфейс	Необхідна інструкція	Простий інтерфейс			S
Масштабування	Легке	Обмежене	—			S
Залежність від якості вхідних даних	Висока	Середня	Висока	W		

Проведений аналіз свідчить, що використання штучного інтелекту має низку суттєвих переваг порівняно з існуючими аналогами та заміниками. До слабких сторін все ж таки можна віднести залежність від якості вихідних даних, що є типовим для інтелектуальних цифрових систем.

4.2 Технологічний аудит ідеї проекту

Даний етап є необхідною частиною обґрунтування можливості практичної реалізації. Також він спрямований напряму на оцінювання відповідності запропонованого рішення до сучасних інформаційних технологій.

Запропонований стартап-проект базується на використанні цифрових технологій загального призначення, які вже набули широко використання у сфері енергетики і проектного менеджменту. Реалізація платформи передбачає використання хмарної інфраструктури, що забезпечує віддалений доступ

користувачів, масштабованість системи та можливість її поетапного функціонального розширення. Такий підхід є доцільним з огляду на обмежені фінансові та організаційні ресурси на початковому етапі реалізації стартап-проєкту.

Для реалізації запропонованих технологічних рішень було розроблено таблицю 4.3, в ній наведено аналіз основних технологій, які доступні для використання на даний момент.

Таблиця 4.3 – Технологічна здійсненність ідеї проєкту

№ п/п	Ідея проєкту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1	Онлайн-платформа управління проєктами підвищення енергоефективності з використанням ШІ	Хмарні вебтехнології (SaaS-архітектура, клієнт-серверні рішення)	Технології наявні, широко використовуються	Доступні для авторів проєкту
2	Автоматизований аналіз енергетичних і техніко-економічних даних	Аналітичні платформи обробки даних, ВІ-інструменти	Технології наявні, потребують адаптації	Доступні з використанням відкритих рішень
3	Інтелектуальне прогнозування параметрів проєкту та енергетичних ефектів	Методи машинного навчання та статистичного аналізу	Технології наявні, потребують доопрацювання моделей	Доступні за умови залучення відповідних фахівців
4	Підтримка проєктного менеджменту та управління ресурсами	Цифрові інструменти проєктного менеджменту, алгоритми оптимізації	Технології наявні	Доступні для інтеграції
5	Формування та супровід проєктної і фінансової документації	Шаблонні та генеративні цифрові сервіси	Технології наявні	Доступні для впровадження
6	Моніторинг реалізації проєктів і оцінка досягнутих результатів	Системи збору даних, аналітичні модулі візуалізації	Технології наявні	Доступні авторам проєкту

У таблиці 4.3 було проаналізовано технології, які вже широко використовуються у роботі над проєктами енергоефективності та можуть бути

залучені для побудови даного стартап-проєкту. Хмарні вебтехнології, аналітичні інструменти обробки даних та програмні засоби проєктного менеджменту мають достатній рівень зрілості та підтримуються широкою спільнотою розробників, що забезпечує їхню стабільність і можливість подальшого розвитку.

Оскільки існує велика кількість відкритих програмних бібліотек, хмарних сервісів та готових інструментів аналітики можливе реалізування проєктів без великих капіталовкладень у створення стартап-проєкту. Запропонований підхід дозволяє мінімізувати технологічні ризики та забезпечити гнучкість і масштабованість проєкту на подальших етапах його розвитку.

4.3 Аналіз ринкових можливостей стартап-проєкту

В сучасних реаліях дуже стрімко зростає попит на цифрові рішення у сфері енергетичного менеджменту та енергоаудиту, пов'язане це саме з активним впровадженням проєктів підвищення енергоефективності [2, 15, 24].

Такі рішення досить актуальні саме для територіальних громад та органів місцевого самоврядування. Відповідно до чинного законодавства вони зобов'язані гарантувати ефективне використання енергетичних ресурсів для будівель бюджетної сфери [3, 17]. Завдяки застосуванню цифрових платформ, аналітичних сервісів та програмних засобів вдається автоматизувати процес збору та обробки даних, чим і пришвидшити виконання поставленого завдання. Підвищити обґрунтованість управлінських рішень та забезпечити відповідність вимогам національних стандартів і нормативних документів [1, 11].

Нижче у таблиці 4.4 наведено попереднє оцінювання ринку.

Таблиця 4.4 – Попередня характеристика потенційного ринку

№ п/п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
-------	--------------------------------------	----------------

1	Кількість головних гравців, од	Енергоаудиторські компанії, постачальники цифрових сервісів для енергоменеджменту, програмні платформи для громад, інші розрізнені інструменти для створення шаблонів документів [28, 29]
2	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає, що зумовлено реалізацією програм термомодернізації, декарбонізації та впровадженням вимог NZEB [15, 20, 21]
3	Наявність обмежень для входу	Помірні: необхідність відповідності нормативним вимогам та наявності галузевої експертизи [1, 11], врахування специфіки проєкту залежно від переліку заходів, які плануються, врахування вимог інвестора щодо змісту проєкту.
4	Середня норма рентабельності в галузі, %	20–35 % для цифрових сервісів і програмно-аналітичних платформ, що перевищує середній банківський відсоток [19, 28]

За результатами аналізу можна зробити висновок, що ринок послуг та цифрових рішень є досить привабливим та перспективним для створення даного стартап-проєкту. Позитивна динаміка розвитку ринку, підтримка з боку громад, а також наявність визначених вимог формують стабільний попит на інноваційні рішення [2, 3, 15]. У таблиці 4.5 проаналізовано специфіку потреб для кожного сегмента потенційних клієнтів.

Таблиця 4.5 – Характеристика потенційних клієнтів стартап-проєкту

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
1	Необхідність підвищення енергоефективності бюджетних будівель комунальних підприємств та зниження витрат на енергоресурси	Територіальні громади	Поведінка регламентована законодавством, бюджетними процедурами та вимогами до прозорості	До продукції: відповідність вимогам інвестора та нормативним вимогам, аналітична звітність; до компанії: надійність, досвід роботи з громадами
2	Планування та обґрунтування проєктів термомодернізації	ОСББ, управителі житлових будинків	Чутливість до ціни, орієнтація на окупність інвестицій, потреба у простих і зрозумілих рішеннях	До продукції: зрозумілий інтерфейс, візуалізація результатів, розрахунок економічного ефекту; до компанії: доступність, консультаційна підтримка

Продовження таблиці 4.5.

3	Реалізація програм енергоефективності та декарбонізації	Державні та міжнародні фонди, донорські організації	Орієнтація на масштабованість, прозорість,	До продукції: можливість агрегування даних, формування
---	---	---	--	--

			стандартизовану звітність та контроль результатів	звітів; до компанії: репутація, відповідність вимогам донорів
4	Впровадження цифрового енергоменеджменту	Комунальні підприємства, енергоменеджери громад	Зацікавленість у довгостроковому використанні, інтеграції з іншими системами, мінімізації ручної роботи	До продукції: інтеграція з базами даних, аналітика, ШІ-модулі; до компанії: стабільність, навчання користувачів

За результатами таблиці 4.5 біло визначено, що стартап проєкт може бути орієнтований на ключові сегменти ринку. Загалом кожен з них потребує саме підвищення класу енергоефективності, при цьому має різні моделі поведінки, мотивацію та вимоги до продукту. Однак завдяки тому, що платформа штучного може підлаштовується під конкретну задачу клієнта та не потребує значного коригування умов роботи.

Нижче у таблицях 4.6 та 4.7 наведено фактори загрози та можливостей, які можуть з'явитися в результаті повного впровадження штучного інтелекту в сферу енергоменеджменту.

Таблиця 4.6 – Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Регуляторні зміни	У разі зміни нормативних вимог може виникнути потреба у доопроцюванні продукту	Моніторинг нормативної бази, оперативне оновлення продукту
2	Обмежені фінанси	Надостатність коштів у клієнтів може призвести до зниження попиту на платформу	Гнучка цінова політика, участь у грантах
3	Консерватизм споживачів	Низька готовність до впровадження нових рішень, недовіра до ШІ	Демонстрація реалізованих проєктів, постійне навчання

Продовження таблиці 4.6.

4	Конкуренція	Існування програмних продуктів, які вже активно	Диференціація продукту, інтеграція ШІ-модулів,
---	-------------	---	--

		використовують у сфері енергоефективності та проектного менеджменту, можливо і в інших сферах	орієнтація на локальні потреби
5	Дефіцит кадрів	Нестача фахівців може значно ускладнити швидкість впровадження платформи	Автоматизація процесів, інтуїтивно зрозумілий інтерфейс

Оскільки штучний інтелект є максимально гнучким, адаптація рішень під кожного клієнта індивідуально є можливою. Аналіз конкуренції у галузі наведено в табл. 4.9.

Таблиця 4.7 – Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1	Розвиток штучного інтелекту	Зростання доступності до ШІ для обробки великих обсягів інформації	Впровадження прогнозних і аналітичних модулів
2	Доступ до міжнародного фінансування	Гранти та донорські програми для енергоефективних проектів	Підготовка рішень для звітності та моніторингу проектів
3	Зростання вартості ресурсів	Підвищення цін стимулює зацікавленість у скороченні споживання енергії	Акцент на економічному ефекті та окупності, збільшення залучених інвестицій

Орієнтуючись на таблиці 4.6 та 4.7, впровадження стартап-проекту несе загалом загрозу організаційного характеру, а також у питання фінансування. Дані фактори можуть бути максимально мінімізовані шляхом адаптації стартап-проекту. Перелік конкурентних програм наведена у таблиці 4.8.

Таблиця 4.8 – Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	Прояв	Вплив на діяльність стартапу
Тип конкуренції (монополістична)	На ринку представлено обмежену кількість цифрових та аналітичних рішень, що частково перекривають функціонал стартапу	Формування унікальної ціннісної пропозиції за рахунок ІІІ та проєктного менеджменту
Рівень конкурентної боротьби (національний)	Основна конкуренція відбувається в межах національного ринку енергоефективності	Адаптація продукту до національних стандартів і законодавства
За галузевою ознакою (внутрішньогалузева)	Конкуренція з ІТ-платформами, енергоаудиторськими та консалтинговими сервісами	Інтеграція функцій аналізу, планування та управління проєктами
За видами товарів (товарно-видова, між бажаннями)	Альтернатива між спеціалізованими програмами, ручним управлінням та комплексною ІІІ-платформою	Акцент на комплексність та автоматизацію процесів
За характером конкурентних переваг (нецінова)	Конкуренція базується на функціональності, аналітиці та точності рішень	Розвиток ІІІ-модулів, аналітики та прогнозування
За інтенсивністю (немарочна)	Ринок ще не має домінуючих брендів у даному сегменті	Можливість швидкого формування впізнаваності стартапу

Таблиця 4.9 – Аналіз конкуренції за М. Портера

Складові аналізу	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
Аналіз	<ul style="list-style-type: none"> • Постачальники програмного забезпечення, які не охоплюють повноцінний проєктний менеджмент, • Класичні менеджери проєктів без використання інструментів штучного інтелекту 	<ul style="list-style-type: none"> • IT-стартапи; • Міжнародні програмні платформи з управління інфраструктурними та енергетичними проєктами 	<ul style="list-style-type: none"> • Розробники програмного забезпечення та алгоритмів штучного інтелекту, • Хмарні обчислювальні сервіси та платформи обробки даних 	<p>Територіальні громади та органи місцевого самоврядування;</p> <p>Балансоутримувачі громадських і бюджетних будівель;</p> <p>ОСББ та комунальні підприємства, що реалізують енергоефективні проєкти;</p> <p>Замовники проєктів, що залучають донорське фінансування та міжнародну технічну допомогу</p>	<p>Проєктний менеджмент без цифровізації</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ручне планування проєктів у табличних редакторах; • Разові консультаційні послуги без системного аналітичного супроводу
Висновки	Інтенсивність конкурентності – незначна, оскільки більшість не застосовує ШІ	Вхід на ринок зараз актуальний, оскільки потенційні конкуренти очікуються лише у майбутньому	Постачальники не диктують жорстких умов	Умови, пов'язані з переліком заходів та інвестором, однак стартап-проєкт гнучкий у цих напрямках	Існує загроза замінників, але їх функціонал може бути істотно обмежений

Аналіз за моделлю М. Портера показав, що на даний момент ринок України у сфері штучного інтелекту в проєктному менеджменті не містить конкурентів. Він перебуває на стадії формування, немає системних рішень. У таблиці 4.10 наведені обґрунтовані фактори для конкурентоспроможності проєкту.

Таблиця 4.10 - Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування
Використання штучного інтелекту	Забезпечує повну автоматизацію, контроль та аналіз ризиків
Поєднання технічного та економічного аналізу	Даний проєкт інтегрує інструменти проєктного менеджменту, техніко-економічні розрахунки, що відповідають реальним потребам територіальних громад та замовникам проєктів підвищення енергоефективності
Дотримання нормативно-правової бази	Проєкт орієнтований на дотримання вимог законодавства, ДСТУ та ДБН у сфері енергоефективності
Орієнтація на потреби громад	Врахування специфіки роботи на рівні територіальних громад
Адаптація до програм підтримки	Відповідність вимогам Фонду енергоефективності та державних програм фінансування
Економічна ефективність	Сприяє оптимізації витрат і підвищенню енергоефективності проєктних рішень
Масштабованість	Можливість застосування для різних типів будівель і громад

Таким чином, сформований перелік факторів конкурентоспроможності свідчить, що стартап-проєкт «Штучний інтелект у проєктному менеджменті проєктів підвищення енергоефективності» має потенціал успішної реалізації в умовах помірної конкуренції на ринку. Поєднання інноваційних цифрових технологій, відповідності нормативній базі та вимогам інвесторів, орієнтація на

потреби територіальних громад забезпечує стійкі конкурентні переваги проєкту. Задля оцінки сильних та слабких сторін проєкту було створено табл. 4.11.

Таблиця 4.11 – Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін

Фактор конкурентоспроможності	Бали (1–20)	Перевага / відставання у порівнянні з конкурентом (–3...+3)
Використання штучного інтелекту	18	+3
Поєднання технічного та економічного аналізу	17	+2
Дотримання вимог законодавства і вимог нормативно-правової бази	18	+2
Орієнтація на потреби громад	16	+2
Адаптація до програм підтримки	15	+1
Економічна ефективність	14	+1
Масштабованість	13	+3

Фінальним етапом аналізу ринкових можливостей впровадження стартап-проєкту є SWOT-аналіз, який в свою чергу дозволяє систематизувати сильні та слабкі сторони проєкту, а також можливості та загрози (табл. 4.12)

Таблиця 4.12 - SWOT-аналіз проєкту

Сильні сторони (S)	Слабкі сторони (W)
Використання штучного інтелекту Комплексний підхід Відповідність нормативній базі Зниження ризиків реалізації проєктів Автоматизоване виконання проєктів Підлаштування під замовника	Потреба у кваліфікованому персоналі, навчання на ранніх етапах впровадження проєкту Стартап перебуває на початковому етапі Обмежена впізнаваність Необхідність інвестицій

Продовження таблиці 4.12.

Можливості (О)	Загрози (Т)
Масштабування на різні регіони України Цифровізація управління проектами в громадах	Обмежені бюджети Низька готовність участі в проєктах для окремих замовників Можливість виходу на ринок конкурентів Зміни та оновлення нормативної бази.

Результати SWOT-аналізу свідчать, що стартап-проєкт має суттєві внутрішні переваги, зумовлені використанням штучного інтелекту та комплексним підходом до управління проектами підвищення енергоефективності. Водночас наявні загрози та слабкі сторони не є критичними і можуть бути мінімізовані за рахунок залучення програм підтримки, поступового масштабування та адаптації проєкту до потреб територіальних громад. В таблиці 4.13 наведено можливість та час впровадження стартап-проєкту на ринок, як самостійної платформи розпочинаючи роботу на партнерських умовах.

Таблиця 4.13 – Альтернативи ринкового впровадження стартап-проєкту

Альтернатива (комплекс ринкових заходів)	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
Впровадження стартап-проєкту у співпраці з 1-2 територіальними громадами	Висока	6-12 місяців
Виведення продукту на ринок для широко кола замовників	Середня, потребує впізнаваності	12-24 місяці
Інтеграція стартапу як модуля в існуючі програмні платформи з енергоаудиту або управління проектами	Низька	Понад 24 місяці

За результатами аналізу альтернатив ринкового впровадження обрано – впровадження стартап-проєкту у співпраці з територіальними громадами. Дана альтернатива характеризується вищою ймовірністю отримання фінансових і організаційних ресурсів та коротшими строками реалізації, що є критично важливим на початковому етапі виведення інноваційного стартапу на ринок.

4.4 Ринкова стратегія проєкту

Створення ринкової стратегії є важливим етапом у створення будь-якого стартап-проєкту. Навіть при наявності технологічного здійснення та технологічного рішення успіх проєкту насамперед залежить від потенційних споживачів даного продукту. Якщо розглядати даний стартап-проєкт, то на даний момент ринок характеризується неоднорідністю та різним рівнем зацікавленості у впровадженості. Пов'язано це насамперед з тим, що відбувається поєднання інструментів штучного інтелекту та проєктного менеджменту у сфері енергетичного менеджменту.

Розробку ринкової стратегії завжди слід розпочинати саме з визначення потенційних груп споживачів, для яких запропонований продукт має найбільшу цінність. Саме вибір цільових сегментів та стратегії охоплення ринку формує основу подальшого позиціонування продукту, вибору каналів просування та побудови моделі взаємодії з клієнтами. У таблиці 4.14 наведено можливі цільові групи клієнтів.

Таблиця 4.14 – Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит у межах сегменту	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1	Територіальні громади	Висока	Високий	Середня	Середня
2	Комунальні підприємства	Середня	Середній	Середня	Низька

Продовження таблиці 4.14.

4	Консалтингові компанії у сфері енергоефективності	Висока	Середній	Висока	Середня
5	Бізнес	Середня	Середній	Висока	Низька

За результатами проведеного аналізу як пріоритетні цільові групи доцільно обрати територіальні громади.

У таблиці 4.15 визначено базові стратегії для розвитку для впровадження стартап-проєкту.

Таблиця 4.15 – Базові стратегії розвитку

№ п/п	Обрана альтернатива розвитку проєкту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції	Базова стратегія розвитку
1	Використання штучного інтелекту та автоматизації процесів	Диференційований маркетинг	Автоматизація, зниження ризиків, комплексний підхід	Стратегія диференціації
2	Адаптація платформи під потреби замовників	Диференційований маркетинг	Гнучкість, індивідуальні рішення	Стратегія фокусування
3	Поетапне впровадження та масштабування	Диференційований маркетинг	Модульність, масштабування по регіонах	Стратегія розвитку ринку
4	Орієнтація на підтримку громад	Диференційований маркетинг	Відповідність законодавству	Стратегія розвитку продукту

Обрана базова стратегія розвитку стартап-проєкту базується на використанні сильних сторін, зокрема застосуванні штучного інтелекту, комплексному підході та відповідності нормативній базі, а також спрямована на реалізацію можливостей масштабування і цифровізації управління проєктами. Базова стратегія конкурентної поведінки проаналізована у таблиці 4.16.

Таблиця 4.16 – Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№ п/п	Чи є проєкт «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, чи залучати клієнтів конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товарів конкурентів, і які?	Стратегія конкурентної поведінки
1	Частково першопрохідцем у сегменті ШІ + проєктний менеджмент	Переважно залучення нових споживачів	Ні, використання власного комплексного підходу	Стратегія інноваційного лідерства
2	Так, у частині комплексної автоматизації проєктів	Формування нового попиту через цифровізацію	Частково: базові функції моніторингу	Стратегія диференціації

Рекомендується використання стратегії конкурентної поведінки орієнтованої на інноваційне лідерство та диференціацію. Саме це відповідає сильним сторонам проєкту: використання штучного інтелекту, комплексному підходу та автоматизації. Основний акцент робиться на формуванні нового попиту серед територіальних громад.

Таблиця 4.17 – Визначення стратегії позиціонування стартап-проєкту

№ п/п	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проєкту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію проєкту (три ключових)
1	Надійність, відповідність нормативній базі та вимогам інвесторів	Стратегія фокусування	Відповідність чинному законодавству, зниження ризиків реалізації проєктів	Надійність – відповідність нормам – довіра
2	Підвищення ефективності управління проєктами	Стратегія диференціації	Комплексний підхід, автоматизоване виконання проєктів	Ефективність – автоматизація – результат
3	Гнучкість і адаптація під потреби замовника	Стратегія розвитку продукту	Підлаштування під кожного замовника, модульність платформи	Гнучкість – індивідуальність – масштабованість

Розроблена стратегія позиціонування формує чітку та узгоджену ринкову позицію стартап-проєкту як інноваційної, надійної та гнучкої онлайн-платформи, що забезпечує комплексну підтримку проєктного менеджменту проєктів підвищення енергоефективності.

4.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проєкту

Розроблення маркетингової програми стартап-проєкту є завершальним етапом формування цілісної ринкової стратегії та спрямовано на практичну реалізацію. Завдяки маркетинговій програмі можливе впровадження проєкту навіть при наявності великої кількості конкурентів, оскільки фактичний споживач орієнтується на виконання його потреб. Маркетингова програма стартап-проєкту ґрунтується на результатах попереднього аналізу конкурентоспроможності, вибору цільових сегментів ринку, базової стратегії розвитку, стратегії конкурентної поведінки та позиціонування продукту.

У таблиці 4.18 розглянуто можливі ключові переваги концепції проєкту.

Таблиця 4.18 – Визначення ключових переваг концепції

Потреба споживача	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
Ефективне управління проєктами підвищення енергоефективності	Скорочення термінів реалізації і зниження управлінських ризиків	Комплексний підхід до проєктного менеджменту з використанням ШІ
Дотримання нормативних вимог та процедур	Зменшення ризику відхилень і помилок під час реалізації	Вбудована відповідність чинній нормативній базі
Обґрунтовані управлінські рішення	Підвищення якості планування та прогнозування	Інтелектуальна аналітика та автоматизовані рекомендації

Продовження таблиці 4.18.

Оптимізація використання ресурсів	Зниження витрат (фінансових, людських, матеріальних ресурсів) на реалізацію проєктів	Автоматизація процесів і підтримка прийняття рішень
Адаптація продукту до специфіки замовника	Підвищення практичної цінності продукту	Гнучке налаштування платформи під кожного користувача
Прозорість реалізації проєктів	Контроль виконання та результатів	Єдина цифрова платформа для моніторингу та аналізу
Інноваційні цифрові рішення	Підвищення конкурентоспроможності користувача	Використання штучного інтелекту як ключової відмінності

Таким чином, концепція потенційного товару орієнтована на задоволення ключових потреб цільових споживачів шляхом поєднання інноваційних цифрових технологій, інструментів проєктного менеджменту та відповідності нормативним вимогам. Сукупність визначених переваг формує цілісну маркетингову концепцію продукту.

Останнім етапом є розроблення концепції маркетингових комунікацій, яка визначає способи взаємодії із цільовими споживачами продукту. Концепція має враховувати специфіку поведінки клієнтів, їх інформаційні потреби, рівень обізнаності, а також ключові позиції позиціонування стартап-проєкту. У таблиці 4.19 наведено основні положення концепції маркетингових комунікацій.

Таблиця 4.19 – Концепція маркетингової комунікації

Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій	Ключові позиції позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
Фахівці територіальних громад: спрощення процедур	Презентації, листи, конференції	Надійність, відповідність нормативам	Підтвердити безпечність і доцільність продукту, спрощення процедур	«Інноваційне рішення, що підтримує виконання вимог і зменшує ризику»

Продовження таблиці 4.19.

Комунальні підприємства: орієнтація на практичний результат	Ділові зустрічі, вебінари, галузеві заходи, майстер-класи	Ефективність, економічність	Показати економічну вигоду і спрощення роботи	«Працюй швидше, точніше та з меншими витратами»
Консалтингові компанії: технічна орієнтованість, інноваційність	Професійні форуми, партнерські програми, виставки	Технологічність, інноваційність	Підкреслити унікальність та конкурентну перевагу	«ШІ-платформа, що підсилює можливості професіоналів»

Таким чином, розроблена концепція маркетингових комунікацій враховує специфіку поведінки різних груп споживачів та особливості прийняття ними управлінських рішень. Використання поєднання офіційних, професійних та цифрових каналів комунікацій дозволяє забезпечити ефективне донесення цінності продукту, підвищити рівень довіри до стартап-проєкту та сприяти формуванню стійкого попиту на його використання.

Висновок до 4 розділу

У четвертому розділі магістерської роботи розроблено та обґрунтовано стартап-проєкт використання штучного інтелекту в проєктному менеджменті проєктів підвищення енергоефективності. Сформульовано ідею створення інтелектуальної цифрової платформи, яка забезпечує підтримку на всіх етапах життєвого циклу енергоефективних проєктів, оптимізацію управлінських рішень. Її застосування сприятиме спрощенню процедур впровадження енергоефективних проєктів, залученню інвестицій, сталому розвитку громад і досягненню національних цілей щодо декарбонізації і енергонезалежності.

Проведений технологічний аудит та аналіз ринкових можливостей показали високу актуальність упровадження подібного продукту в Україні, зважаючи на інтенсивне зростання кількості енергоефективних проєктів, дефіцит висококваліфікованих фахівців і потребу у цифровізації управлінських

процесів. Оцінка конкурентного середовища за моделлю М. Портера підтвердила перспективність виходу на ринок, незначну інтенсивність прямої конкуренції та можливість формування стійких конкурентних переваг за рахунок використання інноваційних цифрових рішень на базі ШІ. У межах розділу розроблено цілісну маркетингову програму стартап-проєкту.

Отже, результати четвертого розділу підтверджують доцільність та практичну значущість впровадження стартап-проєкту. Розроблена концепція платформи на основі штучного інтелекту є здатною суттєво підвищити ефективність управління енергоефективними проєктами.

В результаті замовники отримають комплексне, системне бачення енергоефективного проєкту, включаючи перелік необхідних ресурсів, ризики, інформаційні і мотиваційні аспекти, заходи для масштабування подібних проєктів, техніко-економічне обґрунтування для декількох сценаріїв з відповідними техніко-економічними розрахунками. Замовники матимуть змогу отримати онлайн-консультації і рекомендації щодо технічних, фінансових або адміністративних питань з урахуванням специфіки проєкту, який розробляється громадами.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У магістерській дисертації виконано комплексне дослідження питань підвищення енергоефективності будівельного фонду з урахуванням сучасних нормативних вимог, технічних рішень, можливостей використання відновлюваних джерел енергії та інструментів проєктного менеджменту для територіальних громад.

У **розділі 1** було проаналізовано нормативно-правову базу у сфері енергоефективності, вимоги до енергетичних характеристик будівель, зокрема до NZEB-будівель, а також окреслено актуальні проблеми та виклики, з якими стикаються територіальні громади під час реалізації енергоефективних заходів.

У **розділі 2** розглянуто техніко-економічні аспекти впровадження проєктів енергомодернізації, проаналізовано можливі джерела фінансування, програми підтримки та підходи до оцінювання ефективності енергоспоживання будівель. Проведено огляд сучасного програмного забезпечення, що використовується для енергоаудиту та енергетичного моделювання.

У **розділі 3** виконано розрахунки енергетичних характеристик адміністративної будівлі, визначено показники питомого енергоспоживання, проаналізовано тепловологісний стан огорожувальних конструкцій, проведено моделювання енергоспоживання із застосуванням сучасних програмно-аналітичних інструментів. Оцінено можливості використання відновлюваних джерел енергії для підвищення енергоефективності будівлі.

У **розділі 4** розроблено концепцію стартап-проєкту, що передбачає застосування штучного інтелекту та інструментів проєктного менеджменту для підтримки територіальних громад у реалізації проєктів підвищення енергоефективності. Виконано технологічний, маркетинговий та ринковий аналіз, що підтверджує доцільність і перспективність запропонованої ідеї.

За результатами дослідження підтверджено актуальність комплексного підходу до підвищення енергоефективності будівель, який поєднує нормативно-

технічний аналіз, інженерні розрахунки, сучасні програмні засоби, використання ВДЕ та ефективний проєктний менеджмент. Отримані результати мають практичну значущість для територіальних громад, можуть бути використані при плануванні та реалізації проєктів енергоефективності, а також у навчальному процесі підготовки фахівців у сфері енергетичного менеджменту.

За результатами досліджень опубліковано тези у збірниках праць науково-практичних конференцій:

1. Шовкалюк М.М., Дорошкевич В.О. Розробка концепції використання цифрових технологій і застосування інструментів проєктного менеджменту для участі громад у проєктах підвищення енергоефективності // Збірник наук. праць 5 Міжнар. наук.-практ. інтернет-конф. «Mechanisms of Scientific and Technical Potential Development», [м. Дніпро, 13 – 14 листопада 2025р.], с. 256-257. ISBN 978-617-8293-58-1. Режим доступу: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/77453>.

2. Дорошкевич В.О., Шовкалюк М.М. Аналіз технічних рішень щодо огорожень та інженерних систем адміністративної будівлі для забезпечення вимог енергоефективності згідно діючих норм // Збірник наук. праць XI Міжнародної конференції «Енергетичний менеджмент: стан та перспективи розвитку – PEMS'25», [Київ, 18-20 листопада 2025 р.].

ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА

1. Професійний стандарт «Енергетичний аудитор будівель». Наказ Міністерством розвитку громад, територій та інфраструктури України № 859 від 22.09.2023 р. Режим доступу: https://register.nqa.gov.ua/uploads/0/544-energeticnij_auditor_budivel.pdf
2. Закон України «Про енергоефективність» № 1818-IX, ред. від 01.01.2025. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1818-20/conv#n36>
3. Закон України «Про енергетичну ефективність будівель» <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2118-19#Text>
4. Про затвердження мінімальних вимог до енергетичної ефективності будівель. Наказ Мінрегіону №260 від 27.10.2020. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1257-20#Text>
5. Посилення енергоефективності України. Електронний ресурс. Режим доступу: https://mindev.gov.ua/news/posylennia-enerhoefektyvnosti-ukrainy-ies-ta-nimechchyna-nadaly-18-mln?utm_source=chatgpt.com
6. Про затвердження Методики визначення енергетичної ефективності будівель. Наказ Мінрегіону №169 від 11.07.2018. Режим доступу: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=78168
7. Про затвердження Змін до Методики визначення енергетичної ефективності будівель. Наказ Мінрегіону №261 від 27.10.2020. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1254-20#Text>
8. ДБН В.1.2-11:2021. Основні вимоги до будівель і споруд. Енергозбереження та енергоефективність. Режим доступу: https://e-construction.gov.ua/files/new_doc/2846641320083064610/2022-05-26/801284d7-82d6-434a-9cfa-4f5a153e5325.pdf?utm_source=chatgpt.com
9. ДБН В.2.6-31:2021. Теплова ізоляція та енергоефективність будівель. – К.: Мінрегіонбуд, 2022. 27с. Режим доступу: https://e-construction.gov.ua/files/new_doc/2022-05-31/57a9e1c6-d9b2-40e2-bde7-00af878fc444.pdf

10. ДБН В.2.5-67:2013 Опалення, вентиляція та кондиціонування – К.: Мінрегіон, 2013, 141 с. Режим доступу: https://e-construction.gov.ua/laws_detail/3074971619479783152?doc_type=2

11. ДСТУ 9190:2022. Енергетична ефективність будівель. Метод розрахунку енергоспоживання під час опалення, охолодження, вентиляції, освітлення та гарячого водопостачання. – К.: ДП УкрНДЦ, 2022. 156 с. Режим доступу:

https://gazobeton.org/sites/default/files/sites/all/uploads/dstu_91902022_energetichna_efektivnist_budivel_metod_rozrakh.pdf

12. ДСТУ 9191:2022 Теплоізоляція будівель метод вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будівель. К.: ДП «УкрНДНЦ». 63 с. Режим доступу: <https://eurobud.ua/wp-content/uploads/2023/05/dstu-9191-2022-teploizolyacziya-budivel-metod-vyboru-teploizolyaczijnogo-materialu-dlya-uteplennya-budivel.pdf>

13. ДСТУ EN 15232-1:2017 Енергоефективність будівель. Частина 1. Вплив автоматизованих систем моніторингу та управління будівлями. Модулі М10-4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 (EN 15232-1:2017, IDT) - К.: ДП «УкрНДНЦ», 2017. 43 с. Режим доступу: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=71919

14. ДСТУ-Н Б В.2.6-192:2013 Настанова з розрахункової оцінки тепловологісного стану огорожувальних конструкцій. - К.: ДП «НДІБК», 2013. 41 с. Режим доступу: https://dbn.co.ua/load/normativy/dstu/dstu_n_b_v_2_6_192/5-1-0-1165

15. Державна цільова економічна програма підтримки термомодернізації будівель до 2030 року. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/694-2025-%D1%80#n9>

16. Програми Фонду енергоефективності. <https://surl.li/qamkur>

17. Закон України “Про Фонд енергоефективності” № 2095-VIII, ред. від. 28.08.2025 р. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2095-19#Text>

18. ДСТУ-Н Б В.3.2-3:2014 Настанова з виконання термомодернізації житлових будинків. К.: Мінрегіонбуд, 2014. 71 с. Режим доступу: https://enefcities.org.ua/upload/files/new_dstu-n-b-v_3_2-3-2014.pdf
19. Фонд декорбонізації України. Електронний ресурс. Режим доступу: <https://fdu.com.ua/about-us>
20. Енергоефективність в будівництві: відбувся круглий стіл “Вимоги до будівель NZEB в Україні”. Режим доступу: <https://mindev.gov.ua/news/35838-energoefektivnist-v-budivnictvi-vidbuvsia-kruglii-stil-vimogi-do-budivel-nzeb-v-ukrayini>
21. Деякі питання запровадження вимог до будівель з близьким до нульового рівнем споживання енергії: Наказ міністерства розвитку громад та територій України № 168 від 06.02.2025. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0284-25#Text>
22. Програма IQ energy. Електронний ресурс. Режим доступу: <https://magic-comfort.com.ua/programa-iq-energy/>
23. Дорошкевич В.О., Шовкалюк М.М. Аналіз технічних рішень щодо огорожень та інженерних систем адміністративної будівлі для забезпечення вимог енергоефективності згідно діючих норм // Збірник наук. праць XI Міжнародної конференції «Енергетичний менеджмент: стан та перспективи розвитку – REMS’25», [Київ, 18-20 листопада 2025 р.].
24. ДАЕЕ: енергоефективність. Електронний ресурс. Режим доступу: <https://saee.gov.ua/diialnist/enerhoefektyvnist/enerhoefektyvnist>
25. Теплова енергетика у ЖКГ: стан та перспективи. Документ для обговорення. – К.: Мінрегіонбуд, 2016, 86 с. Режим доступу: <https://www.slideshare.net/slideshow/ss-60508544/60508544>
26. DiXi Group. Ціна природного газу для домогосподарств у європейських столицях у вересні 2025 року у порівнянні з вереснем 2024 року. Режим доступу: <https://www.facebook.com/photo?fbid=1240582001440477&set=a.620395766792440>

27. Закон України “Про об’єднання співвласників багатоквартирного будинку” № 2866-III, ред. від 10.11.2023 р. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2866-14#Text>

28. Шевченко О.М., Шовкалюк М.М., Лісовик В.Л. Аналіз можливостей співпраці енерго-інноваційних хабів в зво з територіальними громадами та підприємствами в проєктах підвищення енергоефективності. Енергетика: економіка, технології, екологія. № 3. 2025. С.110-117. <https://energy.kpi.ua/article/view/339797>

29. DiXi Group. Дослідження в рамках проєкту «Муніципальне енергетичне планування для енергетичного переходу» за підтримки Європейського кліматичного фонду (ECF). Режим доступу: <https://www.facebook.com/dixiUA>

30. Приклади розрахунку до ДСТУ Б В.2.6-189:2013 Методи вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будівель: Посібник для проєктування – К.: ДП НДІБК, 2014. 106 с. Режим доступу: <http://surl.li/fwpybn>

31. ДСТУ Б EN 15251:2011 Розрахункові параметри мікроклімату приміщень для проєктування та оцінки енергетичних характеристик будівель по відношенню до якості повітря, теплового комфорту, освітлення та акустики (EN 15251:2007, IDT) – К.: Мінрегіонбуд, 2012. – 71 с. Режим доступу: http://www.mathcentre.com.ua/download/dstu_en_15251-2011.pdf

32. Енергоефективні системи теплопостачання будівель та технологія «Розумний будинок». Навчальний посібник / В.І. Василенко, О.М. Шевченко, М.М. Шовкалюк – К: GIZ, 2025. – 307 с.

33. Оборонов Т.Ю., Шовкалюк М.М., Ткач М.О. Огляд програм підтримки комплексних технічних рішень з енергоефективності в житловому секторі // Збірник наук. праць X міжнар. наук.-техн. та навч.-метод. конф. "Енергетичний менеджмент: стан та перспективи розвитку –PEMS'2024". [Київ, 26-27 листопада 2024 р.], с.173-175. Режим доступу: <http://pems.kpi.ua/proc/issue/view/18723>

34. Зведена поточна інформація програм Фонду енергоефективності. Електронний ресурс. Режим доступу:

<https://sites.google.com/ee fund.org.ua/monitoring/%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%B3%D1%80%D0%B0%D0%BC%D0%B0-%D0%B5%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B3%D0%BE%D0%B4%D1%96%D0%BC/%D0%B7%D0%B2%D0%B5%D0%B4%D0%B5%D0%BD%D0%B0-%D0%BF%D0%BE%D1%82%D0%BE%D1%87%D0%BD%D0%B0-%D1%96%D0%BD%D1%84%D0%BE%D1%80%D0%BC%D0%B0%D1%86%D1%96%D1%8F-%D0%B5%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B3%D0%BE%D0%B4%D1%96%D0%BC?authuser=0>

35. RETScreen Clean Energy Management. Електронний ресурс. Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/RETScreen>

36. DesignBuilder. Електронний ресурс. Режим доступу: <https://designbuilder.co.uk/>

37. EnergyPlus. Електронний ресурс. Режим доступу: <https://energyplus.net/>

38. Virtual Environment. Електронний ресурс. Режим доступу: <https://www.iesve.com/software/virtual-environment>

39. Autodesk. Електронний ресурс. Режим доступу: <https://www.autodesk.com/products/insight/overview>

40. E-Audit. Електронний ресурс. Режим доступу: <https://e-audit.escoua.com/home/>

41. Transient System Simulation Tool. Електронний ресурс. Режим доступу: <https://www.trnsys.com/>

42. PVsyst. Електронний ресурс. Режим доступу: <https://www.pvsyst.com/en/products/pvsyst-8/>

43. ДСТУ EN 14509:2017 Панелі теплоізоляційні самонесійні з двобічним металевим облицюванням. Вироби заводського виготовлення.

Технічні умови (EN 14509:2013, IDT) – К.: ДП НДІБК, 2017. 313 с. Режим доступу: https://dbn.co.ua/load/normativy/dstu/dstu_en_14509/5-1-0-1959#load

44. ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 Захист від небезпечних геологічних процесів, шкідливих експлуатаційних впливів, від пожежі. Будівельна кліматологія. - К.: ДП «НДІБК», 2010. 127 с. Режим доступу: https://dbn.co.ua/load/normativy/dstu/dstu_b_v_1_1_27_2010/5-1-0-929

45. Рабенко, Є. О. Моделювання енергоспоживання житлової багатоквартирної будівлі з урахуванням особливостей різних програмних комплексів : магістерська дис. : 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка / Рабенко Євгеній Олегович. – Київ, 2024. – 146 с. Режим доступу: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/73686>

46. Шовкалюк М.М., Дорошкевич В.О. Розробка концепції використання цифрових технологій і застосування інструментів проектного менеджменту для участі громад у проектах підвищення енергоефективності // Збірник наук. праць 5 Міжнар. наук.-практ. інтернет-конф. «Mechanisms of Scientific and Technical Potential Development», [м. Дніпро, 13 – 14 листопада 2025р.], с. 256-257. ISBN 978-617-8293-58-1. Режим доступу: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/77453>