

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

**Навчально-науковий інститут енергозбереження та енергоменеджменту
Кафедра геоінженерії**

«На правах рукопису»
УДК _____

До захисту допущено:
В. о. завідувача кафедри
_____ Наталія ЗУЄВСЬКА
«__» _____ 2025 р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

**за освітньо-професійною програмою «Екоєфективне повоєнне
відновлення забруднених територій»**

зі спеціальності 183 «Технології захисту навколишнього середовища»

**на тему: «Екоєфективна термомодернізація у процесі відновлення
багатоквартирних будинків»**

Виконав:

студент VI курсу, групи ГТ-341мп
Брижко Михайло Валентинович _____

Науковий керівник:

професор, доктор технічних наук, професор кафедри геоінженерії,
Ремез Наталя Сергіївна _____

Консультант розділу «Стартап-проект»:

доцент кафедри економіки та підприємництва,
кандидат технічних наук, доцент,
Шевчук Наталія Анатоліївна _____

Рецензент:

д. т. н., старший науковий співробітник, провідний науковий співробітник
відділу гідродинамічної акустики Інституту гідромеханіки НАН
Савицький Олег Анатолійович _____

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

Студент _____

Київ – 2025 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Навчально-науковий інститут енергозбереження та енергоменеджменту
Кафедра геоінженерії

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність – 183 «Технології захисту навколишнього середовища»

Освітньо-професійна програма «Екоефективне повоєнне відновлення забруднених територій»

ЗАТВЕРДЖУЮ

В. о. завідувача кафедри

_____ Наталія ЗУЄВСЬКА

«__» _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту
Брижку Михайлу Валентиновичу

Тема дисертації

«Екоефективна термомодернізація у процесі відновлення багатоквартирних будинків»,

науковий керівник дисертації Ремез Наталя Сергіївна, професор, доктор технічних наук, професор кафедри геоінженерії, затверджені наказом по університету від «03» листопада 2025 р. № 4750-с.

2. Термін подання студентом дисертації 17 грудня 2025 року.
3. **Об'єкт дослідження** – процес термомодернізації житлових будівель .
4. Вихідні дані: дані енергоспоживання житлового будинку.
5. Перелік завдань, які потрібно розробити: провести аналіз підходів до оцінки енергоспоживання житлових будівель та запропонувати шляхи зниження та енергоефективності.
6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу: сформулювати одну тепловізійну зйомку.

7. Орієнтовний перелік публікацій – подати до публікації щонайменше 1 тези доповіді на конференції.

8. Консультанти розділів дисертації

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ 4	Шевчук Н. А., доцент кафедри економіки та підприємництва		

9. Дата видачі завдання 03 листопада 2025 року.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1.	Написання вступу до магістерської дисертації	04.11.2025	
2.	Написання розділу 1, який передбачає проведення аналізу підходів до оцінки житлового фонду та енергозбереження	05.11.2025-12.11.2025	
3.	Написання розділу 2, присвяченого методології дослідження.	13.11.2025-20.11.2025	
4.	Написання розділу 3, який передбачає дослідження наявних практичних аспектів термомдернізації	21.11.2025-05.12.2025	
5.	Написання розділу 4, який передбачає розроблення стартапу	06.12.2025-11.12.2025	
6.	Формулювання висновків. Написання реферату українською та англійською мовами.	12.12.2025	
7.	Підготовка презентації для захисту магістерської дисертації.	13.12.2025	
8.	Подання на кафедру геоінженерії підготовленої та допущеної до захисту магістерської дисертації з відгуком наукового керівника і рецензією.	17.11.2025	

Студент

Михайло БРИЖКО

Науковий керівник

Наталя РЕМЕЗ

РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація містить 92 сторінки, 5 ілюстрацій, 34 таблиці та 44 джерела за переліком посилань.

Актуальність теми зумовлена критично низькою енергетичною ефективністю (ЕЕ) житлового фонду України (понад 75% будинків належать до класів F-G), яка призводить до надмірного споживання енергії (у 2–3 рази вище за нормативи ЄС) та значних теплових втрат.

Зв'язок дослідження з науковими програмами, планами, темами. Дослідження узгоджується з науковими пріоритетами в галузі енергомодернізації, яка відповідає сучасним міжнародним практикам у галузі технологій захисту навколишнього середовища.

Мета роботи — на основі теоретичних та методичних підходів знайти практичні рішення термомодернізації для будівель, а також створити модель стартап-проєкту для їх комерціалізації.

Об'єкт дослідження – процес термомодернізації житлових будівель.

Предмет дослідження — раціональні параметри термомодернізації із застосуванням програмно-апаратного комплексу, прогностичного моделювання та інтелектуального управління енергоспоживанням.

Методи дослідження. Методи дослідження ґрунтувалися на концепції «балансу трьох векторів» і передбачали комплексний підхід до вибору та обґрунтування рішень термомодернізації. Енергетичний вектор реалізовано через енергетичне моделювання та розрахунок показників енергоспоживання з орієнтацією на досягнення класів енергоефективності A/B/C і мінімізацію попиту на енергію. Економічний вектор забезпечено застосуванням інвестиційно-фінансового аналізу з розрахунком чистої теперішньої вартості (NPV) та внутрішньої норми дохідності (IRR) для порівняння альтернатив і визначення найбільш рентабельних сценаріїв. Екологічний вектор здійснювався методами екологічного оцінювання, зокрема оцінюванням впливу протягом життєвого циклу рішень, що дозволило мінімізувати

сукупний негативний вплив на довкілля та інтегрувати екологічні критерії у процедуру прийняття рішень.

Наукова новизна роботи полягає у вдосконаленні теоретичних основ екоефективної термомодернізації шляхом чіткого визначення її понятійного апарату та критеріїв; розробці комплексної методики оцінки та вибору рішень термомодернізації, яка інтегрує екологічні, економічні та технологічні показники; обґрунтуванні та адаптації інноваційних екоефективних рішень до умов українського житлового фонду.

У роботі використано комплекс наукових методів: системний аналіз та синтез – для формування теоретичних основ, понятійного апарату та узагальнення світового досвіду; порівняльний аналіз – для оцінки та вибору найбільш ефективних технологічних рішень та матеріалів; економіко-математичне моделювання та фінансовий аналіз – для обґрунтування економічної ефективності запропонованих рішень та розробки бізнес-моделі стартап-проєкту; методи екологічного оцінювання (наприклад, оцінка життєвого циклу) – для інтеграції екологічної складової у процес вибору рішень; експериментальні методи (діагностика об'єкта) – для оцінки поточного стану пілотного об'єкта.

Практичне значення одержаних результатів. Результати дослідження можуть бути використані при розробленні національних і регіональних програм відновлення житлового фонду та можуть слугувати науковою основою для прийняття рішень органами управління та екологічними службами щодо мінімізації негативного впливу війни на атмосферне середовище та охорони здоров'я населення.

Апробація результатів дисертації. Проблеми охорони праці, промислової та цивільної безпеки: Збірник матеріалів XXXII Всеукраїнської науково-методичної конференції (з участю студентів), м. Київ, 14 травня 2025 р. – Електронне видання. – К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2025. – 115 с.

Публікації. Ган О. В., Брижко М. В., Могильницький Д. О., Могильницька К. О. Комплексний підхід до реабілітації територій після

руйнування критичної інфраструктури //Збірник матеріалів XXXII Всеукраїнської науково-методичної конференції “Проблеми охорони праці, промислової та цивільної безпеки” (з участю студентів), м. Київ, 14 травня 2025 р. К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2025. С. 35-40. URL: <https://opcb.kpi.ua/?p=5243>.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ЕКОЕФЕКТИВНА ТЕРМОМОДЕРНІЗАЦІЯ, ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ, АНАЛІЗ ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ, ПРОАКТИВНИЙ АЛГОРИТМ РЕГУЛЮВАННЯ, ПРОГРАМНО-АПАРАТНИЙ КОМПЛЕКС, ПРОГНОСТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ, ІНТЕЛЕКТУАЛЬНЕ УПРАВЛІННЯ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯМ, ТЕПЛОВІ МОСТИ, ЧИСТА ПРИВЕДЕНА ВАРТІСТЬ, СТАРТАП-ПРОЕКТ, БАГАТОКВАРТИРНИЙ БУДИНОК

ABSTRACT

The master's thesis comprises 92 pages, 5 illustrations, 34 tables, and 44 references listed in the bibliography.

The relevance of the topic is обусловлена critically low energy efficiency (EE) of Ukraine's housing stock (over 75% of buildings belong to classes F–G), which results in excessive energy consumption (2–3 times higher than EU benchmarks) and significant heat losses.

Connection of the research with scientific programs, plans, and topics. The research aligns with scientific priorities in the field of energy modernization, which corresponds to current international practices in environmental protection technologies.

The purpose of the study is to identify practical thermal modernization solutions for buildings based on theoretical and methodological approaches, as well as to develop a startup project model for their commercialization.

The object of the study is the process of thermal modernization of residential buildings.

The subject of the study is the rational parameters of thermal modernization using a software and hardware complex, predictive modeling, and intelligent energy consumption management.

Research methods. The research methods were based on the concept of the “balance of three vectors” and involved an integrated approach to selecting and justifying thermal modernization solutions. The energy vector was implemented through energy modeling and the calculation of energy consumption indicators, with the aim of achieving energy efficiency classes A/B/C and minimizing energy demand. The economic vector was ensured by applying investment and financial analysis, including calculations of net present value (NPV) and internal rate of return (IRR), to compare alternatives and determine the most cost-effective

scenarios. The environmental vector was addressed using environmental assessment methods, in particular life cycle impact assessment of the proposed solutions, which made it possible to minimize the overall negative environmental impact and integrate environmental criteria into the decision-making process.

The scientific novelty of the work lies in improving the theoretical foundations of eco-efficient thermal modernization by clearly defining its conceptual framework and criteria; developing a comprehensive methodology for the assessment and selection of thermal modernization solutions that integrates environmental, economic, and technological indicators; and substantiating and adapting innovative eco-efficient solutions to the conditions of Ukraine's housing stock.

The study employed a set of scientific methods: systems analysis and synthesis to form the theoretical foundations, conceptual framework, and summarize global experience; comparative analysis to evaluate and select the most effective technological solutions and materials; economic and mathematical modeling and financial analysis to substantiate the economic efficiency of the proposed solutions and develop a business model for a startup project; environmental assessment methods (e.g., life cycle assessment) to integrate the environmental component into the solution selection process; and experimental methods (object diagnostics) to assess the current condition of the pilot facility.

Practical significance of the obtained results. The research results can be used in the development of national and regional housing stock recovery programs and may serve as a scientific basis for decision-making by management authorities and environmental services aimed at minimizing the negative impact of the war on the atmospheric environment and protecting public health.

Approbation of the results of the dissertation.

Gan O. V., Bryzhko M. V., Mogilnytskyi D. O., Mogilnytska K. O. A comprehensive approach to the rehabilitation of territories after the destruction of

critical infrastructure. Collection of materials of the XXXII All-Ukrainian scientific and methodological conference “Problems of labor protection, industrial and civil safety” (with the participation of students), Kyiv, May 14, 2025. Kyiv: Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, 2025. P. 35-40. URL: <https://opcb.kpi.ua/?p=5243>.

KEYWORDS: eco-efficient thermal modernization, energy efficiency, life cycle analysis, proactive control algorithm, software-hardware complex, forecast modeling, intelligent energy consumption management, thermal bridges, net present cost, startup project, apartment building

ЗМІСТ

ВСТУП.....	12
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ТА ТЕОРЕТИЧНИХ ОСНОВ ТЕРМОМОДЕРНІЗАЦІЇ У БУДІВНИЦТВІ	15
1.1.Теоретичні основи та понятійний апарат екоефективної термомодернізації.....	15
1.2.Сучасний стан та проблеми термомодернізації багатоквартирних будинків в Україні.....	19
1.3.Аналіз світового досвіду та інноваційних рішень екоефективної термомодернізації будівель.....	24
Висновок до розділу 1.....	36
РОЗДІЛ 2 МЕТОДИЧНІ ПІДХОДИ ДО ОЦІНКИ ТА ВИБОРУ РІШЕНЬ ЕКОЕФЕКТИВНОЇ ТЕРМОМОДЕРНІЗАЦІЇ В БУДІВНИЦТВІ.....	37
2.1.Опис методів, інструментів та підходів для збору та обробки інформації.....	37
2.2. Обґрунтування вибору методів екологічного, економічного та технологічного оцінювання.....	41
2.3. Застосування програмного забезпечення, ГІС-інструментів та лабораторних методик.....	44
Висновок до розділу 2	45

	11
РОЗДІЛ 3 ПРАКТИЧНЕ ВПРОВАДЖЕННЯ ЕКОЕФЕКТИВНОЇ ТЕРМОМОДЕРНІЗАЦІЇ (НА ПРИКЛАДІ ПІЛОТНОГО ОБ'ЄКТА)...	47
3.1.Опис пілотного об'єкта та діагностика його поточного стану.....	47
3.2. Розробка/удосконалення технології/методу/способу/стратегії екоефективної термомодернізації.....	60
3.3. Обґрунтування технічної доцільності, екологічної та економічної ефективності запропонованого рішення	65
3.4.Розрахунок показників результативності та техніко-економічне обґрунтування впровадження.....	68
Висновки до розділу 3.....	71
РОЗДІЛ 4 РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЄКТУ ПО ВИКОРИСТАННЮ..	72
4.1.Формулювання інноваційної ідеї та обґрунтування її актуальності/новизни.....	72
4.2.Обґрунтування капіталовкладень.....	78
ВИСНОВКИ.....	85
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	87
ДОДАТКИ.....	93

ВСТУП

Актуальність теми. В умовах глобальної зміни клімату, зростання цін на енергоносії та необхідності зменшення викидів парникових газів, питання енергоефективності будівель набуває критичного значення. Житловий сектор є одним із найбільших споживачів теплової енергії, що зумовлює значний потенціал для її заощадження шляхом термомодернізації. В Україні, значна частина житлового фонду, особливо багатоквартирні будинки, побудована до 90-х років ХХ століття, має низькі показники теплового захисту. Така ситуація призводить до надмірного споживання енергії та високих комунальних витрат. Водночас, сучасні підходи вимагають інтеграції екологічної складової в процес модернізації. Екоефективна термомодернізація передбачає не лише зменшення енергоспоживання, але й мінімізацію негативного впливу на довкілля протягом усього життєвого циклу будівель, включаючи вибір матеріалів, технологій та оптимізацію експлуатації. Таким чином, перехід від традиційної до екоефективної термомодернізації є стратегічною необхідністю для забезпечення енергетичної незалежності, підвищення комфорту проживання та сталого розвитку.

Мета роботи — на основі теоретичних та методичних підходів знайти практичні рішення термомодернізації для будівель, а також створити модель стартап-проєкту для їх комерціалізації.

Для досягнення поставленої мети визначено наступні **завдання**:

1. Проаналізувати теоретичні основи та понятійний апарат екоефективної термомодернізації, а також дослідити сучасний стан та проблеми її впровадження в Україні.
2. Узагальнити світовий досвід та інноваційні рішення у сфері екоефективної термомодернізації будівель.
3. Розробити методичні підходи та критерії для оцінки і вибору екологічно, економічно та технологічно ефективних рішень термомодернізації.

4. Застосувати розроблені методичні підходи для практичного впровадження екоефективної термомодернізації на прикладі пілотного об'єкта, включаючи діагностику, розробку рішення та техніко-економічне обґрунтування.

5. Розробити концепцію стартап-проєкту, включаючи бізнес-модель та фінансове обґрунтування, з метою комерціалізації запропонованих рішень.

Об'єкт дослідження — процес термомодернізації житлових будівель.

Предмет дослідження — раціональні параметри термомодернізації із застосуванням програмно-апаратного комплексу, прогностичного моделювання та інтелектуального управління енергоспоживанням.

У роботі використано комплекс наукових методів: системний аналіз та синтез – для формування теоретичних основ, понятійного апарату та узагальнення світового досвіду; порівняльний аналіз – для оцінки та вибору найбільш ефективних технологічних рішень та матеріалів; економіко-математичне моделювання та фінансовий аналіз – для обґрунтування економічної ефективності запропонованих рішень та розробки бізнес-моделі стартап-проєкту; методи екологічного оцінювання (наприклад, оцінка життєвого циклу) – для інтеграції екологічної складової у процес вибору рішень; експериментальні методи (діагностика об'єкта) – для оцінки поточного стану пілотного об'єкта.

Наукова новизна роботи полягає у вдосконаленні теоретичних основ екоефективної термомодернізації шляхом чіткого визначення її понятійного апарату та критеріїв; розробці комплексної методики оцінки та вибору рішень термомодернізації, яка інтегрує екологічні, економічні та технологічні показники; обґрунтуванні та адаптації інноваційних екоефективних рішень до умов українського житлового фонду.

Практичне значення роботи полягає у створенні алгоритму та практичних рекомендацій для впровадження екоефективної термомодернізації багатоквартирних будинків; наданні техніко-економічного обґрунтування конкретного пілотного проєкту, яке може бути використане

для залучення інвестицій; розробці готового до впровадження стартап-проєкту, який пропонує інноваційну бізнес-модель для масштабування рішень термомодернізації на ринку.

Робота складається з чотирьох розділів, вступу, висновків, списку використаних джерел та додатків.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ТА ТЕОРЕТИЧНИХ ОСНОВ ТЕРМОМОДЕРНІЗАЦІЇ У БУДІВНИЦТВІ

1.1. Теоретичні основи та понятійний апарат екоефективної термомодернізації

Станом на 2025 рік термомодернізація — це поняття, яке визначає процес підвищення енергоефективності будівель, який включає комплекс заходів, які спрямовані на зниження витрат енергоносіїв (енергоспоживання), а також підвищення рівня комфорту. Цей процес охоплює декілька етапів: від енергоаудиту, до встановлення обладнання, яке дає можливість скоротити енергоспоживання житловокомунальних послуг безпосередньо населенням.

Відповідно до норм Закону України «Про енергозбереження» «енергоефективність» являє собою техніко-економічну характеристику (параметр) обладнання, технологічних процесів, виробничих потужностей або інтегрованих систем, яка відображає ступінь раціонального використання енергетичних ресурсів та кількісно виражається як відношення спожитої енергії до одиниці кінцевого продукту (виробу, послуги чи іншого результату).

Екоефективна термомодернізація (ЕЕТМ) будівель — один із ключових напрямів реалізації принципів сталого розвитку та екологічної модернізації в будівельному секторі. Вона поєднує технічні заходи з підвищення енергоефективності будівель із системним урахуванням їхнього екологічного впливу та економічної доцільності протягом усього життєвого циклу [23].

Основу понятійного апарату ЕЕТМ складає інтеграція трьох ключових концептів:

1. Термомодернізація (Термосанація) — комплекс ремонтно-будівельних робіт та організаційних заходів, спрямованих на зменшення теплових втрат будинком і підвищення ефективності використання енергії для опалення, вентиляції та гарячого водопостачання.

Включає утеплення огорожувальних конструкцій, заміну вікон та дверей, модернізацію інженерних систем .

2. Енергоефективність (ЕЕ) як спосіб раціонального використання енергетичних ресурсів при досягненні заданого рівня комфорту – це досягнення значного зниження питомого споживання енергії будівлею [22].

3. Екоефективність — концепція, яка вимагає досягнення максимальної економічної (ціннісної) вигоди при одночасній мінімізації негативного впливу на довкілля (наприклад, викидів та забруднюючих речовин) та використання ресурсів протягом життєвого циклу продукту чи послуги [2.1].

Екоефективна термомодернізація передбачає вибір матеріалів та технологій з мінімальним «вуглецевим слідом» і високою довговічністю. ЕЕТМ стверджує, що екологічні проблеми можуть бути вирішені через інноваційний розвиток, інтеграцію екологічних міркувань у технологічні та економічні процеси, а також інституційні реформи. ЕЕТМ виходить за межі простого розрахунку економії енергії на етапі експлуатації. Вона вимагає застосування методології оцінки життєвого циклу (LCA), яка враховує екологічний та ресурсний вплив будівельних матеріалів і технологій на всіх стадіях: від видобутку сировини, виробництва, транспортування, монтажу, експлуатації до утилізації. Це дозволяє уникнути перенесення екологічного навантаження з етапу експлуатації на етап виробництва чи утилізації.

Мета ЕЕТМ повністю відповідає принципам сталого розвитку, спрямованим на задоволення потреб сучасності без шкоди для можливостей майбутніх поколінь. ЕЕТМ сприяє досягненню трьох основних вимірів сталості:

- Економічний вимір: зниження експлуатаційних витрат та підвищення вартості нерухомості.
- Екологічний вимір: зменшення викидів парникових газів та раціональне використання ресурсів.

- Соціальний вимір: покращення мікроклімату в приміщеннях та підвищення якості життя мешканців.

Таким чином, теоретична база EETM забезпечує системний підхід, що балансує енергетичні, екологічні та економічні критерії, перетворюючи модернізацію будівельного фонду з технічної задачі на стратегічний інструмент досягнення кліматичної нейтральності. Принципи та критерії екоефективності в будівельній сфері. Оцінювання екоефективної термомодернізації (EETM) вимагає застосування багатокритеріального підходу, який інтегрує економічні, енергетичні та екологічні показники, замість зосередження лише на одному параметрі, як-от термін окупності чи зниження енергоспоживання.

Таблиця 1.1. - Основні групи показників [9]

Група Критеріїв	Показники	Мета оптимізації
Економічні	Чиста теперішня вартість (NPV), внутрішня норма дохідності (IRR), Дисконтований термін окупності (DPBP), Загальні капітальні витрати (CAPEX).	Максимізація економічної вигоди проекту протягом життєвого циклу.
Енергетичні	Питоме річне споживання первинної енергії, клас енергетичної ефективності (наприклад, від G до A), відсоток зниження теплових втрат.	Мінімізація попиту на енергію.
Екологічні	Викиди парникових газів (CO ₂ -екв/рік), енергія, втілена в матеріалах (Embodied Energy), потенціал глобального потепління (Global Warming Potential, GWP) матеріалів, водний та ресурсний слід.	Мінімізація негативного впливу на довкілля протягом життєвого циклу.

Оптимальне екоефективне рішення досягається шляхом знаходження компромісу між цими трьома групами показників, оскільки найглибша термомодернізація (максимальна EE) часто вимагає найвищих витрат та має найбільший екологічний слід на етапі виробництва матеріалів. Реалізація багатокритеріального оцінювання EETM спирається на наступні ключові методики:

1. LCA — фундаментальний інструмент для оцінки екологічної складової екоефективності. На відміну від традиційного енергетичного аудиту, який фокусується виключно на операційній стадії, LCA дозволяє кількісно визначити сукупний вплив проекту ЕЕТМ на довкілля, включаючи:

- вплив виробництва матеріалів (Embodied Impact), енергія та викиди, пов'язані з видобутком, переробкою та транспортуванням ізоляційних матеріалів, віконних систем тощо;
- викиди, пов'язані з фактичним споживанням енергії будівлею (з урахуванням джерела генерації);
- навантаження, пов'язане з демонтажем, утилізацією чи переробкою будівельних відходів.

Саме інтеграція такого підходу дозволяє визначити справжню екоефективність проекту, гарантуючи зниження операційних викидів не переважається високим впливом. Для синтезу економічних, енергетичних та екологічних критеріїв застосовуються МБПР. Метод Аналізу Ієрархій використовується для встановлення вагових коефіцієнтів важливості кожного критерію (наприклад, екологічні переваги можуть мати вищу вагу, ніж швидкість окупності, відповідно до цілей державної політики). Окремо використовують методи, які дозволяють ранжувати альтернативні сценарії термомодернізації (наприклад, утеплення мінеральною ватою проти пінополістиролу, або часткова модернізація проти глибокої) на основі їх інтегральної екоефективності. Ці методи забезпечують прозорий та обґрунтований вибір найбільш екоефективного пакету заходів, особливо в умовах обмеженого фінансування або необхідності пріоритизації. Наприклад, при пріоритизації термомодернізації в центральних міських районах, як показують дослідження, вищий пріоритет може надаватися будівлям із найгіршою початковою енергетичною ефективністю (клас G), незважаючи на високі показники, оскільки вони забезпечують максимальне зниження викидів.

Для узагальнення результатів застосовується інтегральний показник екоефективності, який може бути формалізований як співвідношення між економічною/функціональною цінністю та екологічним навантаженням. У контексті ЕЕТМ це може набувати вигляду співвідношення між дисконтованою економією на енергії та сумарним життєвим циклом (потенціалом глобального потепління). Максимізація цього показника - головна мета ЕЕТМ, яка відображає принцип: "Більше цінності за менше навантаження на довкілля".

1.2. Сучасний стан та проблеми термомодернізації багатоквартирних будинків в Україні

Житловий фонд України, зокрема багатоквартирні будинки (БМБ), характеризується низьким рівнем енергетичної ефективності, що зумовлює надмірне споживання енергетичних ресурсів. Близько 80% багатоквартирних будинків (приблизно 180 тис. одиниць) були збудовані до 1990 року, переважно за застарілими будівельними нормами (ДБН), які не відповідали сучасним вимогам до теплового захисту. Ключові показники енергоспоживання:

- Середній показник питомого споживання енергії на опалення в житловому секторі України є у 2-3 рази вищим, ніж у країнах ЄС, і коливається в межах 180-250 кВт·год/м на рік.
- На сектор будівель припадає близько 42% загального кінцевого споживання енергії в Україні, з яких на житлові будинки — близько 33%.
- Потенціал енергозбереження у житлово-комунальному секторі оцінюється на рівні 30% від теперішнього рівня споживання.

Більшість сучасних досліджень, спрямованих на підвищення рівня енергоефективності ЖБ, зосереджується переважно на питаннях термомодернізації огорожувальних конструкцій (термосанації). Натомість, питання, пов'язані з оптимізацією теплорозподілу в інженерних мережах

будівлі та оцінкою їх впливу на кінцевого споживача, залишаються недостатньо висвітленими та проаналізованими у науковій літературі.

Встановлення сучасного обладнання на існуючі будівлі відповідно до мінімальних сучасних вимог утеплення та інженерних мереж дозволяє зекономити до 70% витрат на опалення та гаряче водопостачання [6].

Термомодернізація охоплює кілька етапів:

- утеплення будівлі з обов'язковим оновленням системи опалення;
- модернізація системи опалення;
- модернізація системи освітлення та системи гарячого водопостачання.

Недосліджена частина загальної проблеми полягає у системному впливі недотримання температурних графіків системи опалення на внутрішньобудинковий тепловий режим, особливо в умовах часткової або несанкціонованої заміни опалювальних приладів у багатоквартирних будинках.

Основу методологічного підходу становить аналіз експлуатаційних показників однотрубно-проточної системи опалення та оцінка її здатності забезпечувати нормативні умови комфортності у типових багатоквартирних житлових будинках.

Таблиця 1.2.— Класи енергоефективності [12]

Клас енергетичної ефективності (ДСТУ Б EN 15217:2018)	Характеристика будівель	Приблизна частка фонду, %	Питоме споживання енергії на рік, (орієнтовно)
F, G (Низька)	Будівлі до 1990 р. без термомодернізації, «панельні» та «хрущовки»	>75%	>180
D, E (Середня)	Частково модернізовані або будівлі 1990-2000-х рр.	≈15–20%	100–180
A, B, C (Висока)	Нове будівництво або комплексна термомодернізація	<5%	<100

Як видно з таблиці, переважна більшість наявного багатоквартирного житлового фонду України (понад 75%) перебуває у найнижчих класах

енергетичної ефективності. Це свідчить про системну проблему теплового захисту та необхідність комплексної (глибокої) термомодернізації для забезпечення відповідності європейським стандартам енергоспоживання. Нормативно-правова база, що регулює термомодернізацію БМБ в Україні, зазнала значної євроінтеграційної трансформації, проте її імплементація залишається складною:

Таблиця 1.3. — Ключові нормативно-правові акти, які регулюють термомодернізацію [23]

Нормативний Акт	Сфера Регулювання	Ключові Положення
Закон України «Про енергетичну ефективність будівель» (2018 р.)	Загальне регулювання.	Впровадження класів енергоефективності (А-Г), обов'язкова сертифікація енергетичної ефективності будівель при продажу/оренді/модернізації.
Закон України «Про Фонд енергоефективності»	Фінансове забезпечення.	Створення інституту Фонду енергоефективності та Програми «ЕНЕРГОДІМ», що надає гранти ОСББ на комплексні енергоефективні заходи.
ДБН В.2.6-31:2016 «Теплова ізоляція будівель»	Технічні вимоги.	Встановлення підвищених нормативів опору теплопередачі огорожувальних конструкцій, наближених до вимог ЄС .
Закон України «Про особливості здійснення права власності у багатоквартирному будинку»	Управління та прийняття рішень.	Регулювання діяльності ОСББ як єдиного суб'єкта, здатного приймати рішення про термомодернізацію та залучати зовнішнє фінансування
Довгострокова стратегія термомодернізації будівель до 2050 року (2023 р.)	Стратегічне планування.	Визначення цільових показників зниження споживання енергії та темпів модернізації, необхідних для досягнення кліматичних цілей

Створено функціональну інституційну та технічну базу для термомодернізації. Закон про Фонд енергоефективності та Програма «ЕНЕРГОДІМ» є ключовими фінансовими стимулами. Однак низькі темпи модернізації (значно нижчі за цільові 3% на рік, встановлені ЄС) свідчать про недостатню ефективність впровадження та наявність значних бар'єрів. Проблематика термомодернізації БМБ в Україні має комплексний характер, поєднуючи технічні, економічні та соціально-інституційні перешкоди.

Таблиця 1.4. — Напрямки політики [15]

Напрямок політики	Шляхи та механізми реалізації
Технічний (Технологічний)	Надійне та безперервне технічне переоснащення галузі. Модернізація або повна заміна енергоємного обладнання. Запровадження нових енергоефективних та енергозберігаючих технологій. Мінімізація технологічних витрат та втрат первинних енергетичних ресурсів (ПЕР).
Економічний	Створення сприятливих умов для всебічного залучення інвестицій у проекти з підвищення енергоефективності та енергозбереження в житловому фонді. Удосконалення системи управління в галузі з урахуванням принципів ринкових відносин та економічної доцільності.
Нормативно-правовий (законодавчий)	Удосконалення нормативно-правової бази та спрощення регуляторних механізмів. Узгодження політики підвищення енергоефективності на всіх рівнях державного управління та місцевого самоврядування. Забезпечення дотримання вимог нормативно-правових актів, спрямованих на стимулювання впровадження енергоефективних технічних рішень.
Організаційний	Коригування та оптимізація основних заходів з енергоефективності та енергозбереження. Формування енергоощадного світогляду та культури в суспільстві. Створення інформаційного забезпечення та сприяння поширенню практики енергетичного менеджменту (енергоменеджменту).

Таблиця систематизує основні напрямки державної політики, які є ключовими для досягнення цілей енергетичної стійкості в житлово-комунальному секторі. Кожен напрямок описує стратегічні дії, необхідні для комплексної трансформації галузі, зокрема у технічний фокусується на фізичній модернізації інфраструктури та впровадженні інноваційних технологій; економічний створює фінансові стимули для інвестицій та забезпечує ефективне ринкове управління; нормативно-правовий встановлює рамкові правила та обов'язкові вимоги для всіх учасників ринку; організаційний відповідає за координацію, освіту та зміну поведінки споживачів.

Таблиця 1.5.— Класифікація та аналіз проблем термомодернізації БМБ

[21]

Тип проблеми	Опис та сучасний стан	Наслідки
Технічні	<p>1. Асиметрична (хаотична) модернізація: порушує цілісність фасадної системи та погіршує технічний стан будинку.</p> <p>2. Складність модернізації старих систем: застарілі системи опалення (однотрубні), відсутність індивідуального обліку та регулювання тепла в квартирах</p>	Зниження загальної ефективності проекту, ризик виникнення плісняви та руйнування конструкцій.
Економічні	<p>1. Високі капітальні витрати: загальна вартість термомодернізації всього житлового фонду оцінюється в ≈ 80 млрд доларів США.</p> <p>2. Недостатній рівень власного капіталу ОСББ та високі вимоги до кредитування.</p>	Низькі темпи модернізації (потреба у 30 роках), залежність від державного грантового фінансування.
Інституційні/соціальні	<p>1. Низький рівень створення ОСББ: Лише ≈ 38 тис. будинків мають обрану форму управління (ОСББ) із >180 тис. наявних БМБ.</p> <p>2. Складність прийняття рішень: необхідність згоди 75% співвласників на модернізацію в ОСББ,</p>	Відсутність відповідального власника будинку, що є обов'язковою умовою для участі у фінансових програмах
Екологічні	Залежність від неякісних матеріалів: використання дешевих ізоляційних матеріалів із високим вмістом втіленої енергії або низькою довговічністю.	Збільшення загального GWP проекту, перенесення екологічного навантаження з операційної на виробничу фазу життєвого циклу.

Як видно із таблиці:

1. Технічні бар'єри вимагають переходу від *локальних* заходів до комплексної (глибокої) модернізації будівлі як єдиної інженерної системи.

2. Економічні бар'єри свідчать про критичну залежність від державної фінансової підтримки та необхідність розробки більш гнучких інструментів залучення приватного капіталу.

3. Інституційні бар'єри (низька частка ОСББ) є первинною перешкодою, оскільки вони унеможливають участь більшості житлового фонду у вже діючих фінансових механізмах.

4. Екологічні ризики підкреслюють необхідність інтеграції принципів екоефективності та при виборі будівельних матеріалів.

Таким чином, успішне подолання низьких темпів термомодернізації вимагає комплексної політики, що охоплює як фінансові стимули, так і інституційне зміцнення співвласників БМБ.

1.3 Аналіз світового досвіду та інноваційних рішень екоефективної термомодернізації будівель

Досвід країн Європейського Союзу (ЄС) є релевантним для України, оскільки він демонструє шляхи досягнення високих показників екоефективності та енергоефективності в умовах значного обсягу старого житлового фонду. Успішні державні програми ЄС зосереджені на стимулюванні глибокої (комплексної) термомодернізації та застосуванні інноваційних фінансових механізмів.

Таблиця 1.6. — Порівняльний аналіз успішних державних програм термомодернізації в ЄС [20]

Країна / програма	Основна Ціль	Ключовий механізм фінансування	Особливості екоефективності
Німеччина / KfW (Банк Розвитку)	Досягнення стандартів «Енергоефективний будинок» (Efficiency House Standard).	Пільгові кредити та гранти з високою часткою відшкодування (до 40-50%) за умови глибокої модернізації.	Стимулювання комплексного підходу та використання відновлюваних джерел енергії (ВДЕ).
Франція / MaPrimeRe'nov' та E'co-Pre't a' Taux Ze'ro (E'co-PTZ)	Підтримка енергетичної санації для усіх категорій власників.	Прямі гранти для домогосподарств із низьким доходом; безвідсоткові кредити.	Фокус на комплексній модернізації (пакет робіт) замість поетапної,
Нідерланди / Rijkssubsidieregeling	Прискорення темпів термомодернізації.	Субсидії для власників, які виконують мінімум дві енергоефективні заходи.	Акцент на впровадженні системного підходу та цифрового моніторингу енергоспоживання.

Світовий досвід демонструє, що ключовим фактором успіху є інтеграція фінансових стимулів (низькі відсоткові ставки, високі гранти) з високими технічними вимогами (глибока модернізація до конкретного стандарту). Екоефективна термомодернізація вимагає застосування інноваційних матеріалів та технологій, спрямованих на зниження як операційного, так і втіленого (embodied) впливу на довкілля.

Протягом 2010–2019 рр. у Польщі зафіксовано зростання загального кінцевого енергоспоживання (ЗКЕС) з 70 млн. т нафтового еквівалента (МТНЕ) до 77 МТНЕ. Цей приріст був переважно спричинений збільшенням енергопотреби в транспортному секторі (з 17 МТНЕ до 23 МТНЕ) та промисловому секторі (з 22 МТНЕ до 26 МТНЕ). Варто відзначити, що енергоспоживання в будівельному секторі знизилося з 31 МТНЕ до 29 МТНЕ, незважаючи на 40% збільшення житлової площі за аналогічний період. Це може свідчити про підвищення енергоефективності в цьому секторі.

За період з 2005 по 2018 рр. зафіксовано значне та стійке зниження частки домогосподарств, які відчують труднощі із забезпеченням належного опалення своїх житлових приміщень. Цей показник скоротився з 34% у 2005 р. до 5% у 2018 р. Варто відзначити, що ця низхідна траєкторія була послідовною протягом усього аналізованого періоду. Навіть макроекономічні чинники, такі як фінансова криза, або кліматичні умови, зокрема більш холодні зими, не мали істотного впливу на звітні показники, що вказує на ефективність впроваджених механізмів або структурні покращення в енергетичному секторі та добробуті населення. Паралельно спостерігалася подібна тенденція щодо частки домогосподарств, які мали заборгованість за комунальні послуги. У період з 2005 по 2008 рр. відбулося помітне скорочення цього показника з 24% до 10%.

Однак, у наступні роки тенденція змінилася: до 2014 р. рівень заборгованості зріс до 14%. Після 2014 р. було відновлено позитивну динаміку, і показник поступово знизився до 6%. Ця волатильність (зростання в 2008-2014 рр. та подальше зниження) може відображати зміну економічних умов або ефективності програм соціальної підтримки. Значний приріст будівельної активності фіксувався у період 1946–1990 рр., з особливим піком у середині 1960-х рр. Це зростання було зумовлене інтенсивним впровадженням технологій великопанельного будівництва. Об'єкти, зведені за цією технологією (переважно багатопверхові або чотириповерхові будівлі), наразі потребують комплексної реконструкції. Ключові пріоритети модернізації зосереджені на:

1. Посиленні теплоізоляції огорожувальних конструкцій (зовнішніх стін, дахів, фундаментів) з метою мінімізації теплових втрат.
2. Модернізації систем центрального опалення для підвищення ефективності генерації та розподілу теплової енергії.

Важливо, що значна частка цих великопанельних будівель інтегрована до мереж централізованого тепlopостачання. Структура будівельного фонду Польщі, сформована значною мірою за рахунок великопанельної забудови

радянського періоду, визначає національний пріоритет у сфері енергоефективності. Масштабна термомодернізація цього сегмента є критично необхідною для зниження загального кінцевого енергоспоживання та досягнення кліматичних цілей. Регулювання сфери енергоефективності в Польщі було започатковано у 2011 р. з прийняттям першого Закону про енергоефективність. Основною метою цього законодавчого акта було формування стимулюючих механізмів для підвищення рівня енергоефективності в національній економіці.

Ключовим нововведенням стало запровадження Системи білих сертифікатів (СБС). У рамках СБС на енергетичні компанії, які здійснюють постачання електроенергії, тепла або природного газу кінцевим споживачам у межах польських мереж, було покладено зобов'язання щодо придбання або отримання визначеної кількості сертифікатів енергоефективності, відомих як Білі сертифікати (БС). У 2016 р. Закон 2011 р. був замінений оновленою редакцією, що мала на меті подальше посилення заходів з енергоефективності та забезпечення досягнення національних цільових показників. Він забезпечив повну узгодженість національного законодавства з положеннями Директиви 2012/27/ЄС (Директива про енергоефективність). Сфера застосування (визначена у Статті 1 Закону) охоплює такі ключові аспекти:

1. Принципи розробки Національного плану дій з енергоефективності.
2. Визначення відповідальності державного сектора у сфері енергоефективності.
3. Регулювання виконання зобов'язань щодо енергозбереження (зокрема, в рамках СБС).
4. Процедури проведення енергетичних аудитів на підприємствах.

Законодавча база енергоефективності в Польщі демонструє еволюційний розвиток, переходячи від створення первинних ринкових стимулів (СБС) до комплексного регулювання та гармонізації з нормами ЄС,

що підкреслює її стратегічний пріоритет. Згідно з чинним законодавством, усі державні органи Польщі несуть зобов'язання щодо пріоритетного закупавання енергоефективних продуктів і послуг. Ця вимога поширюється також на операції з придбання або оренди будівель, які мають відповідати високим стандартам енергоефективності. Крім того, державний сектор зобов'язаний дотримуватися рекомендацій з енергоефективності для всіх об'єктів нерухомості, які перебувають у державній власності або використовуються на умовах оренди. Цей підхід є інструментом для демонстрації лідерства у сталому енергоспоживанні та стимулювання ринку енергоефективних рішень. Енергетична політика Польщі до 2040 р. (ЕПП2040) є фундаментальною стратегічною рамкою для національного енергетичного переходу. Документ визначає стратегічні вказівки щодо вибору технологій, які мають стати основою для формування низьковуглецевої енергетичної системи. ЕПП 2040 підтверджує непохитне зобов'язання Польщі щодо Справедливого та солідарного переходу до низьковуглецевої енергетики, активно сприяючи імплементації положень Паризької угоди (грудень 2015 р.). Ключові стратегічні цілі ЕПП2040:

1. Забезпечення енергетичної безпеки — підтримання стабільного та надійного енергопостачання.
2. Підвищення конкурентоспроможності економіки — сприяння економічному зростанню через оптимізацію енергетичних витрат.
3. Сприяння енергоефективності — максимізація раціонального використання енергетичних ресурсів.

Цей комплексний підхід також включає прагнення до мінімізації негативного впливу енергетичного сектора на навколишнє середовище та оптимізацію використання національних енергетичних ресурсів. Крім того, ЕПП2040 окреслює національну роль Польщі у здійсненні кліматичної та енергетичної політики Європейського Союзу, враховуючи її підвищені амбіції останніх років. У 2019 році Республіка Польща офіційно представила Європейській комісії Національний енергетичний і кліматичний план на

період 2021–2030 рр. (NECP PL). Цей документ формулює стратегічні вектори, що узгоджуються та доповнюють більш широку національну програму розвитку, зокрема Стратегію відповідального розвитку та її взаємопов'язані секторальні стратегії. NECP PL також демонструє високий ступінь комплементарності з Енергетичною політикою Польщі до 2040 р. (ЕПП2040).

2. Ключові кліматичні та енергетичні цілі до 2030 р.

- Скорочення викидів парникових газів (ПГ);
- Зменшення на 7% обсягів викидів ПГ у секторах, які не охоплюються Системою торгівлі викидами (non-ETS), порівняно з референтним рівнем 2005 р.

- Досягнення частки ВДЕ у валовому кінцевому енергоспоживанні на рівні 21–23%.

- Верхня межа цілі (23%) умовна і залежить від забезпечення додаткового фінансування з боку Європейського Союзу, включно з ресурсами, призначеними для Справедливого переходу.

3. Спеціальні заходи у будівельному секторі. Слід також зазначити, що як допоміжний інструмент політики, Національний план зі збільшення кількості будівель з низьким енергоспоживанням був офіційно прийнятий та імплементований у 2015 році, що підкреслює пріоритет енергоефективності у будівельному фонді. План передбачає комплекс стратегічних інтервенцій, які переважно складаються з урядових заходів, спрямованих на стимулювання розвитку будівель з майже нульовим споживанням енергії (БМНЕ).

Ці заходи охоплюють весь життєвий цикл будівель — від планування та будівництва до реконструкції — з метою забезпечення їхньої енергетичної ефективності. Ключовим аспектом є інтенсифікація інтеграції відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) як у новостворені, так і в існуючі будівельні об'єкти.

Систему сертифікатів енергоефективності (ССЕ) було запроваджено у 2008 році та вона зазнала низки модифікацій з моменту її ініціалізації. Це ключовий інструмент європейського та національного регулювання,

спрямованим на підвищення прозорості ринку нерухомості та стимулювання енергозбереження у секторі будівель. Вона ґрунтується на вимогах Директиви ЄС 2010/31/EU про енергетичну ефективність будівель (EPBD) та імплементована у національне законодавство (в Україні – Законом "Про енергетичну ефективність будівель"). Сертифікат енергоефективності (СЕЕ) – це офіційний документ, що містить встановлену форму, який засвідчує клас енергетичної ефективності будівлі або її частини, визначає фактичні та розрахункові показники енергоспоживання, а також надає рекомендації щодо заходів для її підвищення. Основні функції СЕЕ:

1. Надання споживачам (власникам, орендарям, покупцям) об'єктивної інформації про очікувані витрати на енергоносії.
2. Створення ринкової переваги для енергоефективних будівель, що стимулює власників до термомодернізації.
3. Забезпечення виконання мінімальних вимог енергоефективності при будівництві, реконструкції та продажу/оренді будівель.

Класифікація енергоефективності (рис.1.1)

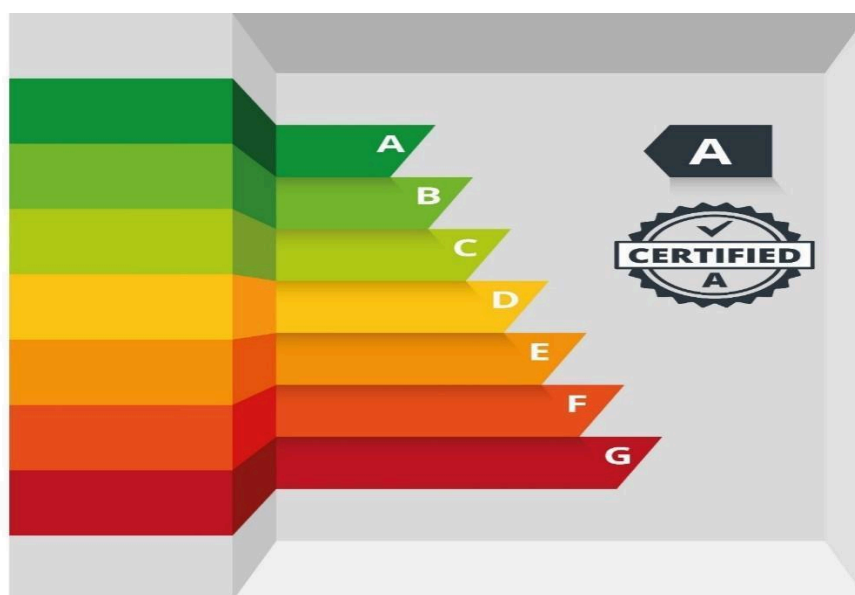


Рис.1.1 Класи енергоефективності

На даний час СЕЕ є обов'язковим виключно під час продажу або оренди об'єкта нерухомості, при цьому вимога щодо його видачі при введенні

нової будівлі в експлуатацію була скасована. Виявлено проблеми з прозорістю інформації, яка надається кінцевим користувачам. Зокрема, у ССЕ відсутня класифікація енергетичного класу для будівель. Натомість використовується безперервна шкала, що відображає фактичні та контрольні значення невідновлюваної первинної енергії. Ця відсутність чітких позначень енергетичного класу значно ускладнює об'єктивну оцінку енергетичної ефективності будівлі. Методологія, яка застосовується для розрахунків, не відповідає стандартам, встановленим міжнародною групою ISO 52000. Крім того, наразі система ССЕ не використовується для інших важливих цілей, зокрема для оцінки ефективності зусиль з енергетичної модернізації. Національний план збільшення кількості будівель із низьким енергоспоживанням (НПЗКБНЕ) був офіційно прийнятий у червні 2015 року. Цей документ визначає комплекс заходів, які мають бути реалізовані органами державної влади для стимулювання будівництва об'єктів БМНЕ. Ці заходи охоплюють етапи проектування, будівництва та реконструкції і спрямовані на:

- Забезпечення енергоефективності будівель.
- Покращення доступності використання відновлюваної енергії як у нових, так і в існуючих структурах.

З 2000 року в Литві спостерігається стабільне зростання економічних показників та рівня енергоспоживання. Єдине короткочасне зниження цих показників було зафіксовано у 2008 році, що збіглося з періодом глобальної фінансової кризи. Впровадження заходів з енергоефективності (ЕЕ) відіграло критично важливу роль у стримуванні попиту. За оцінками, зростання економічної активності (зокрема, у секторах транспорту та промисловості) та структурні зміни в економіці, що відбулися після 2000 року, потенційно призвели б до подвоєння кінцевого споживання енергії за відсутності імплементації заходів ЕЕ. У 2018 році загальне кінцеве споживання енергії (ЗКСЕ), призначене для потреб опалення та охолодження в Литві, становило 2,6 МТНЕ (мільйонів тонн нафтового еквівалента). Цей обсяг становив

45,06% від загального кінцевого споживання енергії (ЗКСЕ) країни, що підкреслює домінуючу частку теплового навантаження у національному енергетичному балансі. У Литві будівельний сектор (житловий сектор та сфера послуг) є значним споживачем енергії. Загальний будівельний фонд країни налічує 1,45 млн. будівель із сукупною житловою площею 99,2 млн. м². Переважна більшість цього фонду була зведена до 1995 року. Лише незначна частка – 167 000 будинків (або 18,6 млн. м²) – є відносно новими. Більшість будівель припадає на багатоквартирні будинки, збудовані переважно у період 1945–1980 рр., що обумовлює їхнє потенційно низьке енергоефективне виконання. Внесок громадських будівель у загальне енергоспоживання є порівняно скромним.

Литва, як і багато країн зі значною інфраструктурою централізованого опалення (ЦО), стикається з гострою проблемою низької теплоефективності у багатоквартирному житловому фонді. Із загальної кількості у 38 000 багатоквартирних будинків, приблизно 18 000 підключені до системи ЦО. Проте значна частина цих об'єктів (близько 13 800) характеризується неналежним рівнем теплоізоляції. Лише 4 200 будинків є новозбудованими або пройшли комплексну енергетичну реконструкцію. Існує значний диспаритет у середньорічному споживанні теплової енергії між різними групами будівель:

1. Неутеплені (застарілі) багатоквартирні будинки: 160 кВт·год/м².
2. Новозбудовані або реконструйовані будинки: 80–90 кВт·год/м².

Цей високий рівень споживання у нереконструйованому фонді призводить до значного фінансового навантаження на домогосподарства. У зимові місяці частка витрат на опалення може сягати 30–40% від загального доходу. Для пом'якшення цього ефекту малозабезпеченим домогосподарствам надається компенсаційна допомога. Закон про заходи підвищення енергоефективності в Литві (далі — Закон) встановлює обов'язкові цілі щодо енергозбереження та регулює договірні відносини між постачальниками енергії та промисловими споживачами. Згідно зі Статтею 7 Директиви про

енергоефективність (в редакції Директиви (ЄС) 2018/2002), Литва взяла на себе зобов'язання щодо досягнення сукупної економії енергії в результаті заходів з підвищення енергоефективності. Прогнозується, що ця кумулятивна економія має досягти мінімального обсягу 27 280 ГВт·год. Підвищення енергоефективності (ЕЕ) визначено як ключовий пріоритет у сфері енергетики з довгостроковою перспективою до 2050 року. Цей напрямок законодавчо закріплено у Національній стратегії енергетичної незалежності, ухваленій у 2018 році. Литва має на меті постійне та послідовне підвищення ЕЕ через низку механізмів:

1. Впровадження нових, менш енерговитратних технологій.
2. Підвищення обізнаності споживачів.
3. Стимулювання зміни їхньої енергоспоживаючої поведінки.

Основні сектори кінцевого споживання енергії в країні: транспорт, послуги, домогосподарства та промисловість. Основна ціль Стратегії підвищення енергоефективності стосується зниження первинної та кінцевої енергоємності:

1. Енергоємність має бути знижена в 1,5 рази (відносно рівня 2017 року).
2. Енергоємність має бути знижена приблизно в 2,4 рази (відносно рівня 2017 року).

У період з 2000 по 2019 роки Данія продемонструвала загальне скорочення кінцевого споживання енергії, скориговане на кліматичні фактори, на 3,4%. Паралельно спостерігалася стійка тенденція до зниження енергетичної інтенсивності економіки:

- кінцева енергоємність зменшилася на 25%, що відповідає середньорічному темпу зниження 1,5%.
- інтенсивність первинної енергії скоротилася ще значніше — на 34%, із середньорічним темпом 2,2%.

Ці показники свідчать про успішну декарбонізацію та підвищення ефективності використання енергії в економіці Данії. Станом на 2021 рік

житловий сектор і сектор послуг є найбільшими споживачами електроенергії в Данії, сукупно формуючи значну частку попиту:

- житловий сектор: 31% від загального споживання електроенергії.
- сектор послуг: 28% від загального споживання електроенергії.
- аналіз будівельного фонду виявив його значну застарілість:
- 32% усіх будівель було зведено до 1945 року (історичний фонд).
- 27% будівель побудовано у період 1945–1969 рр.

Підхід Данії до поступового підвищення вимог до енергоспоживання будівель пропонує цінну модель для ефективної реалізації державної політики. На початковому етапі були запроваджені добровільні стандарти для вищих енергетичних класів, зокрема «Клас низького енергоспоживання 2015» та «Клас будівництва 2020». Ця практика забезпечила будівельній галузі передбачувану траєкторію розвитку. Завдяки цьому промисловість мала змогу адаптуватися та поступово впроваджувати інновації, що сприяло підвищенню зацікавленості та готовності сектору до майбутнього переходу на обов'язкові енергетичні стандарти. Поетапний перехід від добровільних до обов'язкових стандартів, яскравим прикладом якого є «Будівельне законодавство Данії 2015 р.», демонструє прагматичний підхід до досягнення амбітних цілей зі скорочення споживання енергії.

Інновації в ЕЕТМ не обмежуються матеріалами; вони охоплюють і системні рішення. Фасади, що генерують енергію (BIPV - Building Integrated Photovoltaics): Інтеграція фотоелектричних елементів безпосередньо у фасадні та покрівельні системи. Це перетворює будівлю з пасивного споживача на активного виробника енергії, підвищуючи її екоефективність до певного рівня. Встановлення високоефективних систем припливно-витяжної вентиляції з рекуперацією тепла. Це дозволяє контролювати якість повітря при мінімальних втратах енергії, що є критичним для герметичних, термомодернізованих будівель.

Проведений аналіз дозволяє зробити такі ключові висновки щодо теоретичних основ, понятійного апарату та сучасного стану екоефективної термомодернізації:

1. Екоефективна термомодернізація являє собою парадигму розвитку будівельного сектору, яка інтегрує принципи екологічної модернізації та Сталого Розвитку. Вона вимагає переходу від простої *енергоефективності* до *екоефективності*, де економічна вигода співвідноситься із мінімізованим екологічним навантаженням.

2. Ключовим інструментом для об'єктивної оцінки ЕЕТМ є аналіз життєвого циклу (LCA), що дозволяє врахувати втілену енергію та викиди будівельних матеріалів. Це запобігає «зеленому промиванню мізків» (greenwashing) і забезпечує справжню екологічну доцільність проекту [2.7].

3. Житловий фонд України характеризується критично низькою енергоефективністю та високим потенціалом енергозбереження. Незважаючи на наявність прогресивної нормативно-правової бази (Закон про Фонд енергоефективності та Програма «ЕНЕРГОДІМ»), темпи модернізації залишаються незадовільними через інституційні бар'єри (низька частка ОСББ) та високі.

4. Світовий досвід (Німеччина, Франція) підтверджує ефективність глибокої комплексної модернізації, стимульованої значними грантами. Майбутнє ЕЕТМ пов'язане із застосуванням біогенних ізоляційних матеріалів та енергогенеруючих фасадів, що дозволить українському житловому фонду перейти від статусу енергетичного тягаря до активних елементів енергетичної системи.

Таким чином, для прискорення ЕЕТМ в Україні необхідна не лише масштабна фінансова підтримка, але й адміністративні заходи, спрямовані на інституційне зміцнення співвласників та обов'язкову імплементацію при виборі технологічних рішень.

Висновки до розділу 1.

1. Екоєфективна термомодернізація визначена як інтегративна парадигма, що виходить за рамки традиційної енергоефективності. Вона являє собою прямий прояв принципів Сталого Розвитку та екологічної модернізації (ТЕМ) у будівництві, гармонізуючи три виміри: економічну вигоду, енергетичну ефективність та мінімізацію екологічного впливу. Досягнення оптимального ЕЕТМ-рішення вимагає багатокритеріального оцінювання (МБПР), що дозволяє збалансувати, наприклад, високі капітальні витрати (CAPEX) глибокої модернізації з її довгостроковими енергетичними та екологічними перевагами.

2. Житловий фонд України, зокрема багатоквартирні будинки, характеризується критично низькою енергоефективністю (понад 75% фонду належить до найнижчих класів F-G), що призводить до питомого споживання енергії на рівні, який у 2-3 рази перевищує показники ЄС. Незважаючи на створення прогресивної нормативно-правової бази (Закон про Фонд енергоефективності, Програма «ЕНЕРГОДІМ»), темпи модернізації залишаються незадовільними (значно нижчими за цільові 3% на рік). Головною первинною перешкодою є низький рівень створення ОСББ та складність прийняття рішень співвласниками, що блокує доступ більшості фонду до існуючих фінансових механізмів.

3. Високі капітальні витрати та хаотична (асиметрична) модернізація (індивідуальне утеплення) вимагають переходу від локальних, неефективних заходів до комплексної, глибокої термомодернізації будівель як єдиних інженерних систем.

Досвід країн ЄС (зокрема, Німеччини та Франції) підтверджує, що успіх програм модернізації забезпечується інтеграцією значних фінансових стимулів (високі гранти, пільгові кредити KfW, Éco-PTZ) із жорсткими технічними вимогами (глибока модернізація до конкретного енергоефективного стандарту).

Досвід Польщі демонструє ефективність Системи Білих Сертифікатів як ринкового механізму стимулювання, а досвід Литви підкреслює критичну важливість модернізації застарілого багатоквартирного фонду, де теплові втрати у нереконструйованих будинках у 1,8-2 рази вищі за нові.

Таким чином, для прискорення ЕЕТМ в Україні необхідна комплексна політика, яка має бути сфокусована не лише на фінансовій підтримці, але й на інституційному зміцненні (стимулювання створення ОСББ) та обов'язковій імплементації критеріїв екоефективності (LCA) при відборі проектів та технологічних рішень.

РОЗДІЛ 2.

МЕТОДИЧНІ ПІДХОДИ ДО ОЦІНКИ ТА ВИБОРУ РІШЕНЬ ЕКОЕФЕКТИВНОЇ ТЕРМОМОДЕРНІЗАЦІЇ В БУДІВНИЦТВІ

2.1. Опис методів, інструментів та підходів для збору та обробки інформації

Для забезпечення обґрунтованого вибору рішень екоефективної термомодернізації (ЕЕТМ) використовується інтегрований підхід до збору та обробки даних, який поєднує у собі первинні (польові) та вторинні (документальні) джерела інформації. Збір даних про фактичне споживання енергії — об'єкт та ідентифікація критичних зон теплових втрат (мости холоду) за допомогою термовізора (інфрачервоної камери). Такий підхід дозволяє кількісно оцінити поточний стан теплового захисту будівлі та визначити пріоритетні конструкції для модернізації.

Визначення герметичності огорожувальних конструкцій шляхом вимірювання повітрообміну. Результати використовуються для розрахунку неконтрольованих інфільтраційних втрат тепла. Збір зразків існуючих огорожувальних конструкцій для визначення фактичних теплотехнічних характеристик.

Відповідно до чинного законодавства України обстеження інженерних систем будівель виконується кваліфікованими фахівцями за ініціативи та фінансового забезпечення власника (співвласників) будівлі. Для багатоквартирних будинків замовником виступає власник, співвласники, ЖБК, ОСББ або управитель житлового будинку. Під час реалізації заходів, які спрямованих на підвищення рівня енергетичної ефективності будівлі, які фінансуються коштом державної підтримки проводиться комплексна перевірка поточного стану будівлі. Процедура включає послідовну реалізацію таких етапів:

- підготовка до проведення обстеження;
- детальне обстеження будівлі;
- розробка рекомендацій для підвищення рівня енергоефективності.

Підготовка передбачає збір та аналіз вихідної інформації, а також організаційні заходи, зокрема: вивчення функціонального призначення будівлі, її архітектурно-планувальних, конструктивних, технічних та технологічних особливостей; ретельний розгляд наявної проектної та технічної документації; формування детального плану та обсягу обстежувальних робіт.

При проведенні організаційних заходів термомодернізації на кожному етапі роботи необхідний безперешкодний доступ до усіх мереж та комунікацій, включають документацію, а також присутність кваліфікованого експлуатаційного персоналу, який відповідає за експлуатацію обладнання. Не допускається проведення обстеження будівель та інженерних систем тільки на підставі фотографій, відеозаписів чи креслень без обов'язкового візуального обстеження на об'єкті. Обстеження проводиться з використанням таких методик, як:

- детальне вимірювання геометричних параметрів, елементів та вузлів;
- встановлення фактичних навантажень, які діють на інженерні системи;

- дослідження та класифікація дефектів і пошкоджень, які змінили проектні характеристики систем за період експлуатації;
- визначення параметрів дефектів/пошкоджень із використанням вимірювальної техніки, їх фотофіксація та складання схем;
- проведення анаргоаудиту за для виявлення випадків неефективного використання енергії та ідентифікація джерел перевитрат енергоресурсів;
- дослідження причин виникнення дефектів та пошкоджень, які непередбачені проектною документацією;

На підставі отриманої інформації систематизуються дані про технічний стан та енергетичні характеристики інженерних мереж та систем.

Усі засоби вимірювальної техніки повинні відповідати чинним вимогам законодавства України про метрологію.

Вивчення архітектурно-будівельних креслень, паспортів на інженерне обладнання та актів введення в експлуатацію для встановлення технічних характеристик об'єкта та його історичної енергоємності. Збір ретроспективних даних щодо споживання теплової енергії, електроенергії та води за період не менше трьох років для розрахунку базового (початкового) рівня енергоспоживання та його корекції на кліматичні фактори (градусо-доба опалювального періоду). Застосування методів регресійного та кореляційного аналізу для встановлення зв'язку між кліматичними умовами, параметрами будівлі та фактичним споживанням енергії.

Для забезпечення екоефективності вибір рішень не може ґрунтуватися виключно на терміні окупності чи зниженні енергоспоживання. Необхідна інтеграція трьох груп методів оцінювання:

1. Екологічне оцінювання відбувається з допомогою методу аналізу життєвого циклу (Life Cycle Assessment, LCA). Це єдиний метод, що дозволяє кількісно оцінити сукупний вплив проекту ЕЕТМ на довкілля, включно з втіленою енергією (Embodied Energy) та потенціалом глобального потепління (Global Warming Potential, GWP) матеріалів. LCA забезпечує цілісний погляд,

запобігаючи перенесенню екологічного навантаження з етапу експлуатації на етап виробництва матеріалів. Оцінювання проводиться відповідно до міжнародних стандартів ISO 14040/14044.

2. Економічне оцінювання - використання показників чиста теперішня вартість (NPV) та дисконтований термін окупності (DPBP) необхідний для врахування вартості грошей у часі. Це дозволяє коректно порівняти високі початкові капітальні витрати (CAPEX) на глибоку модернізацію з довгостроковими експлуатаційними заощадженнями (OPEX) протягом всього економічного терміну служби проекту (наприклад, 20-30 років), що є критичним для довгострокової інвестиційної привабливості ЕЕТМ.

3. На відміну від статичних методів, динамічне моделювання дозволяє врахувати складні взаємозв'язки між кліматом, тепловою інерцією конструкцій, внутрішніми теплонадходженнями та режимами роботи інженерних систем. Це забезпечує високу точність прогнозування зниження енергоспоживання після модернізації, що є основою для фінансових розрахунків та прийняття рішень.

4. Комплексне оцінювання - метод багатокритеріального прийняття використовується для синтезу результатів трьох попередніх оцінок. Він дозволяє встановити вагові коефіцієнти для кожного критерію (наприклад, екологічна користь може мати вищу вагу, ніж швидкість окупності) відповідно до цілей державної політики (наприклад, досягнення кліматичної нейтральності), забезпечуючи прозорий вибір екоефективного компромісу.

2.2. Обґрунтування вибору методів екологічного, економічного та технологічного оцінювання

Застосування програмного забезпечення, ГІС-інструментів та лабораторних методик:

Таблиця 2.1. — Інструменти та методики [22]

Тип інструменту	Програмне забезпечення / Метод	Призначення та роль
Термоенергетичне моделювання	DesignBuilder, EnergyPlus, IDA ICE (або аналоги, що відповідають ISO 52000)	Динамічне моделювання теплового балансу будівлі, імітація поведінки будинку в різних кліматичних умовах та оцінка економії енергії для кожного сценарію модернізації.
Екологічне оцінювання (LCA)	GaBi, openLCA	Бази даних екологічних профілів матеріалів (EPD) та розрахунок показників GWP, Embodied Energy, водного сліду для альтернативних пакетів модернізації.
Економічне оцінювання	MS Excel (зі спеціалізованими макросами)	Розрахунок NPV, IRR, DPBP, чутливості проекту до зміни цін на енергоносії та дисконтної ставки.
ГІС-інструменти	Arc GIS, QGIS	Створення енергетичного кадастру міста/району, візуалізація просторового розподілу енергоемності будівель, пріоритизація об'єктів для модернізації на основі класу енергоефективності
Лабораторні методики	Методики ДСТУ Б В.2.6-31:2016	Визначення фактичних коефіцієнтів теплопровідності та вологості матеріалів для калібрування моделі і забезпечення точності розрахунків.

Схема дослідження ЕЕТМ відображає ітеративний процес, що починається з діагностики та завершується багатокритеріальним вибором оптимального рішення:

1. Діагностичний етап (базовий рівень)
2. Збір первинних (аудит, термовізія) та вторинних (документація, споживання) даних.
3. Створення та калібрування динамічної термоенергетичної моделі існуючої будівлі (визначення базового ПКСЕ та класу ЕЕ).
4. Формування альтернативних сценаріїв модернізації

5. Розробка пакетів заходів (від мінімального до глибокого/БМНЕ). Кожен пакет включає різні технології (наприклад, утеплення мінеральною ватою vs. пінополістирол).

6. Проведення імітаційного моделювання для кожного сценарію (прогноз ПКСЕ, зниження втрат).

7. Фіналізація ТЕО для обраного рішення, включно з рекомендаціями щодо матеріалів, інженерних систем та фінансових механізмів.

Вибір методів оцінювання екоефективних рішень термомодернізації ґрунтується на необхідності комплексної, мультикритеріальної верифікації їхньої доцільності та сталості. Така верифікація вимагає інтеграції трьох ключових аспектів: екологічного, економічного та технологічного. Основний метод екологічного оцінювання – оцінка життєвого циклу (Life Cycle Assessment, LCA). Метод LCA (згідно зі стандартами ISO\ 14040/14044) дозволяє кількісно визначити та порівняти вплив на навколишнє середовище різних варіантів термомодернізаційних рішень (вибір утеплювачів, віконних систем, джерел тепла) на всіх етапах: від видобутку сировини, виробництва, транспортування, монтажу, експлуатації до утилізації. Це забезпечує системний підхід, запобігаючи перенесенню навантаження з однієї стадії життєвого циклу на іншу (наприклад, зменшення експлуатаційного споживання енергії не повинно бути нівельовано високим "сірим" енергоспоживанням при виробництві матеріалів). Оцінювання охоплює такі ключові екологічні показники, як: потенціал глобального потепління (GWP), споживання первинної енергії (CED) та утворення відходів. Ключові методи економічного оцінювання – дисконтування грошових потоків (Discounted Cash Flow, DCF) та аналіз "витрати-ефективність". Економічна оцінка базується на показниках NPV, IRR та DPBP, а також на розрахунку приведених (життєвих) витрат (LCC).

Енергетичний аудит — первинний метод, який забезпечує діагностику поточного стану об'єкта та визначає потенціал енергозбереження. Він

включає тепловізійний контроль, аеродверні випробування та розрахунок фактичних теплотехнічних характеристик. Критерії включають досягнення розрахункового класу енергоефективності, довговічність матеріалів та відповідність нормативним вимогам. Для забезпечення точності та комплексності розрахунків використовується спеціалізоване програмне забезпечення:

Використовуються інструменти, такі як Design Builder (на базі Energy Plus) або TERM (для українських норм). Це дозволяє створити деталізовану віртуальну модель пілотного об'єкта, моделювати його тепловий баланс у часі (годинна/добова динаміка) та точно розрахувати економію енергії для різних пакетів заходів термомодернізації. Програмні засоби, такі як MS Excel або спеціалізовані модулі BEM-програм, застосовуються для реалізації DCF-аналізу, розрахунку NPV, IRR та LCC, що є основою для техніко-економічного обґрунтування. Використання програм, таких як SimaPro або GaBi, забезпечує доступ до стандартизованих баз даних (наприклад, Ecoinvent) для коректного виконання оцінки життєвого циклу обраних будівельних матеріалів та технологій. Застосування ГІС-інструментів, зокрема ArcGIS або QGIS, є необхідним для:

- Візуалізації та аналізу розміщення пілотного об'єкта відносно міської інфраструктури, джерел тепла, а також зон із різним мікрокліматом (вплив затінення, роза вітрів);

- ГІС використовується для інвентаризації та паспортизації міського житлового фонду, що має потенціал для модернізації. Це дозволяє здійснювати попередню категоризацію будівель за типом, роком будівництва та класом енергоспоживання для подальшого кластерного впровадження екоефективних рішень.

2.3. Застосування програмного забезпечення, ГІС-інструментів та лабораторних методик

Для отримання достовірних вхідних даних використовуються наступні методи:

- визначення місць найбільших теплових втрат (теплових містків, дефектів утеплення);
- вимірювання фактичної повітропроникності огорожувальних конструкцій та виявлення неконтрольованих інфільтраційних втрат (згідно з ДСТУ\ EN\ 13829);
- перевірка відповідності сертифікатів якості ключових матеріалів (теплопровідність, паропроникність, горючість) вимогам проекту та стандартам.

Дослідження екоефективної термомодернізації структуроване за наступною логічною схемою, що забезпечує послідовність, обґрунтованість та інтеграцію екологічних, економічних та технологічних оцінок.

Таблиця 2.2. — Схема дослідження екоефективної термомодернізації [21]

Етап	Основні дії	Методи та інструменти	Результат
I. Початкова діагностика	Збір даних про об'єкт, польовий енергоаудит, визначення поточного класу енергоефективності.	Енергетичний аудит, тепловізійна зйомка, Blower Door Test, ГІС-аналіз.	Визначення базового рівня споживання енергії та проблемних зон.
II. Формування альтернативних рішень	Розробка 2-3 технічно обґрунтованих пакетів заходів термомодернізації (A1, A2, A3).	Синтез, порівняльний аналіз інноваційних технологій.	Каталог технічних рішень з попередніми розрахунками економії.
III. Комплексне оцінювання рішень	Моделювання енергоспоживання, оцінка життєвого циклу, економічний аналіз.	ВЕМ-моделювання (EnergyPlus), LCA (SimaPro), DCF-аналіз (NPV, IRR).	База даних показників для кожного варіанту.
IV. Оптимізація та вибір	Зважений вибір оптимального екоефективного рішення.	Багатоатрибутивний аналіз рішень.	Обґрунтування технічної доцільності, екологічної та економічної ефективності
V. Техніко-економічне обґрунтування	Детальний розрахунок показників результативності, розробка плану впровадження.	Фінансове моделювання, розрахунок LCC, аналіз ризиків.	Готове ТЕО та перевірка можливостей практичної реалізації.
VI. Комерціалізація	Розробка стартап-проєкту та бізнес-моделі для масштабування Аорт.	Аналіз ринку, SWOT-аналіз, Фінансове обґрунтування.	Сформований інвестиційний стартап-проєкт.

Висновки до розділу 2.

1. Проведений аналіз та систематизація методологічних підходів дозволили обґрунтувати інтегровану систему оцінки та вибору екоефективних рішень термомодернізації (ЕЕТМ) у будівництві.

2. Обґрунтовано необхідність комплексного, мультикритеріального підходу до оцінки рішень, які базуються на рівноправній інтеграції трьох ключових векторів: встановлено доцільність застосування методу аналізу життєвого циклу (LCA); підтверджено пріоритетність методів дисконтування грошових потоків, зокрема використання показників чистої

теперішньої вартості та ін, що забезпечує коректне порівняння високих капітальних витрат з довгостроковими експлуатаційними заощадженнями.

3. Обґрунтовано застосування динамічного термоенергетичного моделювання як єдиного інструменту, який забезпечує високу точність прогнозування зниження енергоспоживання завдяки врахуванню складних взаємозв'язків клімату, теплової інерції та режимів інженерних систем.

4. Систематизовано інструментарій дослідження, включаючи спеціалізоване програмне забезпечення. Визначено роль BEM-інструментів для технологічного прогнозу, LCA-програм (GaBi, openLCA) для екологічного профілювання та ГІС-інструментів (ArcGIS, QGIS) для просторової інвентаризації та пріоритизації об'єктів модернізації у міському середовищі.

5. Розроблено та представлено логічну Схему Дослідження EETM, яка є ітеративним процесом, що охоплює шість послідовних етапів: від початкової діагностики та калібрування моделі до фінального Багатокритеріального Аналізу Рішень (MADM) та формування Техніко-Економічного Обґрунтування (ТЕО). Ця схема слугує методологічною основою для практичної реалізації дослідницької частини роботи (Розділ 3).

Таким чином, у Розділі 2 сформовано методологічну базу, необхідну для кількісної оцінки альтернативних рішень термомодернізації, що забезпечує прозорий та науково обґрунтований вибір оптимального екоефективного компромісу з урахуванням цілей сталого розвитку.

Вибір даного типу будівлі обумовлений його широким розповсюдженням у міській забудові, яка забезпечує репрезентативність отриманих результатів для подальшого масштабування. Характеристика пілотного об'єкта:

- тип будівлі: багатоквартирний житловий будинок;
- рік будівництва: 1980-ті роки;
- поверховість: 9 поверхів;
- кількість секцій/під'їздів: 4 під'їзди;
- конструктивна схема: панельна, з несучими зовнішніми та внутрішніми стінами;
- зовнішні стіни виготовлені із панелей (керамзитобетон) товщиною близько 300-350 мм, мають значні термічні містки у місцях стиків панелей та навколо віконних прорізів.

З метою визначення пріоритетних заходів термомодернізації та оцінки енергетичної ефективності було проведено комплекс діагностичних робіт, що включав візуальний огляд, натурні вимірювання та інструментальний контроль. При огляді виявлено ознаки руйнування міжпанельних стиків, наявність тріщин та відшарування захисного покриття, що свідчить про порушення герметичності та зниження теплоізоляційних властивостей. Більшість вікон у квартирах та місцях загального користування (МЗК) – старі дерев'яні рами або неякісні склопакети, які характеризуються високим рівнем інфільтрації повітря та низьким опором теплопередачі. Плоска рулонна покрівля, часто з ознаками локальних протікань та недостатньої теплоізоляції.

Системи опалення: наявність застарілих елеваторних вузлів без автоматичного регулювання, незбалансованість системи опалення, значні втрати тепла у підвалі та на горищі через неізольовані трубопроводи. Виконано тепловізійну зйомку зовнішніх стін та покрівлі в холодний період року.



Рис.3.2. Тепловізійна зйомка будинку

Тепловізійна зйомка, виконана в холодний період року (при зовнішній температурі -5 , показує розподіл температури на поверхнях огорожувальних конструкцій. Червоні, жовті та помаранчеві зони вказують на значні тепловтрати (місця, де температура зовнішньої поверхні стіни найвища, а отже, найбільше тепла виходить із приміщення).

Зовнішні стіни панельного будинку серії 96 (товщина близько 350 мм керамзитобетонних панелей) без утеплення мають дуже низький опір теплопередачі (R).

Таблиця 3.1 Показники втрат

Зона тепловтрат	Температура поверхні стіни	Примітки
Панелі стін (фон)	+0,5°C до +3°C	Жовті зони- значні втрати тепла.
Стики панелей (мости холоду)	До +7°C	Яскраво-червоні/білі зони. Найкритичніші місця. Утеплення повинно ліквідувати ці "мости".
Зона віконних прорізів (Схили)	+4°C до +6°C	Червоні зони. Слабке місце через товщину та якість монтажу.

Результати підтвердили наявність значних температурних аномалій (зон підвищених тепловтрат) у міжпанельних швах, кутах будівлі, місцях примикання балконних плит та навколо віконних прорізів. Температурна різниця на внутрішній поверхні стін у цих зонах досягала 2-4% порівняно з центральними ділянками. На основі даних про фактичне споживання теплової енергії за останні три опалювальні сезони встановлено, що питоме споживання теплової енергії на опалення перевищує нормативні показники для нових будівель у 1.8-2.2 рази, складаючи в середньому 180-220 кВт·год/м опалювальної площі на рік.

Таблиця 3.2.- Показники

Показник	Значення (кВт·год/м ² на рік)	Джерело/примітка
Фактичне споживання (середнє)	180 - 220	За даними користувача
Норматив для нових будівель	~70 - 120	Діапазон для сучасних, енергоефективних будівель в Україні (залежно від кліматичної зони та класу енергоефективності).
Перевищення нормативу	1.8 - 2.2 рази	Розраховано користувачем.

Поточний стан пілотного об'єкта характеризується високим рівнем енергоспоживання, значними тепловтратами через огорожувальні конструкції та неефективну роботу інженерних систем. Основні проблеми, які потребують вирішення в рамках екоефективної термомодернізації, включають:

1. Низький термічний опір зовнішніх стін.
2. Висока інфільтрація повітря та тепловтрати через вікна та двері.
3. Відсутність автоматичного погодного регулювання в системі опалення.
4. Наявність значних теплових мостів.

Отримані дані (Таб.3.2) слугуватимуть основою для розробки техніко-економічного обґрунтування та формування комплексу енергоефективних заходів, спрямованих на досягнення класу енергетичної ефективності не нижче «С» згідно з чинними нормативними вимогами.

На підставі результатів діагностики пілотного об'єкта (будинок серії 96 на вул. Кирилівська, 131) та з урахуванням принципів екологічної ефективності (мінімізація впливу на довкілля та максимальне використання енергозберігаючих технологій) було розроблено та обґрунтовано комплекс заходів, розподілених за пріоритетністю та очікуваним рівнем енергозбереження. Екоефективність розглядається як досягнення максимального зниження споживання енергії (зниження рівня втрат) при одночасній оптимізації вартості життєвого циклу модернізованих конструкцій.

Ці заходи спрямовані на усунення основних джерел тепловтрат, виявлених під час тепловізійного обстеження та аудиту.

Таблиця 3.3 - Заходи аудиту [23]

Захід	Обґрунтування екоефективності	Очікуваний ефект зниження тепловтрат
Утеплення зовнішніх стін	Використання мінеральної вати (товщиною 150–200 мм) або пінополістирольних плит (ППС) підвищеної густини. Мінеральна вата є негорючим (клас А1), паропроникним та екологічним матеріалом.	Зниження втрат тепла через стіни на 45–55%.
Утеплення даху (горища)	Утеплення мінеральною ватою (товщиною ≥ 250 мм). Зменшення ефекту "теплової подушки" та запобігання перегріву верхніх поверхів влітку.	Зниження втрат тепла через дах на 10–15%.
Заміна вікон та дверей у МЗК	Встановлення енергоефективних металопластикових конструкцій з двокамерним склопакетом з низькоемісійним покриттям (заповнення інертним газом Ar).	Усунення інфільтрації повітря, зниження втрат тепла через прозорі конструкції.
Модернізація системи опалення	Встановлення індивідуального теплового пункту (ІТП) з погодним регулюванням та балансувальними клапанами на стояках.	Зниження споживання теплової енергії за рахунок автоматичного регулювання та балансування системи на 20–30%.

Для забезпечення комплексного екоефективного підходу, окрім базових заходів, рекомендовано впровадження наступних елементів:

- приділяється увага ізоляції місць стиків панелей, балконних плит та цокольної частини. Використовуються спеціалізовані теплоізоляційні елементи та герметики;
- встановлення децентралізованих рекуператорів у квартирах або централізованої системи з рекуперацією у МЗК. Це дозволяє зберегти до 70-85% тепла витяжного повітря, при цьому забезпечуючи необхідний повітрообмін.

Встановлення сонячних колекторів на даху для часткового забезпечення потреб у гарячому водопостачанні (ГВП) протягом літнього періоду. Це знижує навантаження на централізовану тепломережу і зменшує споживання

викопного палива. Прийняття зазначеного комплексу заходів дозволить досягти:

1. Зниження питомого споживання енергії на опалення(прогнозоване зниження до 70-90 кВт·год/м²на рік), що відповідає класу енергоефективності «В» або «С».
2. Очікуване скорочення річного споживання теплової енергії на 50-65%.
3. Заходи обґрунтовані з точки зору мінімального терміну окупності (дисконтований термін окупності) та максимального чистого дисконтованого доходу (NPV) протягом розрахункового періоду (20 років). Використання екологічно чистих, довговічних матеріалів та інтеграція ВДЕ підвищує інвестиційну привабливість проекту. На основі проведеної діагностики та обґрунтування екоєфективних заходів розроблено деталізоване технічне рішення для пілотного об'єкта, орієнтоване на комплексну санацію та використання матеріалів з оптимальним співвідношенням теплотехнічних, екологічних та експлуатаційних характеристик.

Таблиця 3.4. - Характеристики та параметри [20]

Конструктивний елемент	Захід	Технічні параметри	Вибір екоефективного матеріалу
Зовнішні стіни	Утеплення за системою СФТК (система фасадна теплоізоляційна композиційна)	Товщина утеплювача: 150 мм. Опір теплопередачі (після модернізації).	Мінеральна вата (кам'яна вата) з коефіцієнтом теплопровідності $\lambda=0.035-0.040$ Вт/(м·К). Обґрунтування: негорючість (клас А1), висока паропроникність, звукоізоляційні властивості.
Покрівля (плоска)	Додаткове утеплення по існуючому покриттю з укладанням нової гідроізоляції.	Товщина утеплювача: 250 мм (мінімум).	Мінеральна вата високої щільності або екструдований пінополістирол (XPS). Використовується для інверсійних покрівель через низьке водопоглинання, мінвата — для традиційних.
Цоколь та підлога підвалу	Утеплення по периметру та гідроізоляція.	Товщина утеплювача: 100 мм.	Екструдований пінополістирол (XPS). висока механічна міцність, стійкість до вологи та ґрунтового тиску.
Вікна та балконні двері (МЗК)	Повна заміна.	Віконний профіль: 5-камерний. Склопакет: двокамерний енергозберігаючий (4i-16Ar-4-16Ar-4i).	ПВХ-профіль з відповідною сертифікацією. мінімальний коефіцієнт теплопередачі $U_w \leq 1.1$ Вт/(м ² ·К).

З метою ефективної роботи інженерних мереж прийнято рішення: встановити індивідуальний тепловий пункт (ІТП) з автоматичним погодним регулюванням та насосним обладнанням із частотним регулюванням. Це забезпечить подачу теплоносія з температурою, що залежить від зовнішніх кліматичних умов;

- встановити балансувальних клапанів (автоматичних або ручних) на стояках для гідравлічного балансування системи, усуваючи перетопи в одних квартирах та недогрів в інших;

- провести теплоізоляцію всіх трубопроводів у підвальних та горищних приміщеннях за допомогою каучукової теплоізоляції або спіненого поліетилену;
- встановлення децентралізованих рекуператорів (припливно-витяжних установок) з керамічним акумулятором тепла в найбільш вологих та житлових приміщеннях, які дозволять відновити до 80-90% тепла витяжного повітря, запобігаючи при цьому утворенню конденсату та плісняви після утеплення.

Вибір мінеральної вати для фасадного утеплення — ключове екоефективне рішення. На відміну від традиційного пінополістиролу, мінеральна вата:

- негорюча та виключає необхідність використання дорогих антипіренів;
- виготовляється переважно з природної сировини (базальтові породи), має високу довговічність та можливість вторинної переробки;
- забезпечує відведення вологи з конструкції, підтримуючи здоровий мікроклімат у приміщеннях та запобігаючи руйнуванню стін.

Фізична залежність (енергозбереження)

Фізично, енергоефективність (зменшення тепловтрат) залежить від опору теплопередачі (R) огорожувальної конструкції, який прямо пропорційний товщині утеплювача (L).

Ключові формули:

1. Опір теплопередачі утеплювача $R_{ут}$:

$$R_{ут} = L / \lambda$$

Де:

- L – товщина утеплювача (м).
 - λ – коефіцієнт теплопровідності матеріалу (Вт/(м·К)).
2. Коефіцієнт теплопередачі U або загальний опір теплопередачі

$R_{заг}$:

○ $R_{\text{заг}}$ — це сума опорів усіх шарів конструкції (стіни, утеплювач, оздоблення).

$$\circ \quad R_{\text{заг}} = R_{\text{стіна}} + R_{\text{ут}} + R_{\text{інші\ шарі}}$$

3. $U = 1/ R_{\text{заг}}$

4. Тепловтрати (Q):

$$Q = 1/ R_{\text{заг}} * A * \Delta T = U * A * \Delta T$$

де A — площа огорожувальної конструкції, ΔT — різниця температур.

Залежність:

- Збільшення товщини L лінійно збільшує опір утеплювача $R_{\text{ут}}$.
- Збільшення загального опору $R_{\text{заг}}$ нелінійно зменшує тепловтрати Q .
- Коли $R_{\text{ут}}$ стає значно більшим, ніж $R_{\text{стіна}}$, подальше збільшення L дає менший відносний ефект зменшення Q . Тобто, перехід від 5 см до 10 см дає більший ефект, ніж від 25 см до 30 см.

Економічна залежність (оптимальна товщина)

Для багатопверхового будинку необхідно знайти оптимальну товщину утеплювача, при якій загальні витрати (вартість утеплення + вартість опалення за весь термін служби) будуть мінімальними. Складові загальних витрат:

1. Інвестиційні витрати (вартість утеплення): зростають майже лінійно з товщиною утеплювача (з невеликим нелінійним зростанням через складність монтажу дуже товстих шарів та необхідність більш потужних кріплень).

2. Експлуатаційні витрати (вартість опалення): нелінійно зменшуються зі збільшенням товщини утеплювача.

Висновок з економічного аналізу:

- На початку (мала товщина) зменшення витрат на опалення швидко перевищує зростання вартості утеплювача.
- Після певної точки (оптимальна товщина) додаткові витрати на подальше збільшення товщини більші, ніж економія на опаленні.

Саме ця точка мінімуму загальних витрат (інвестиції + експлуатація) є економічно доцільною (оптимальною) товщиною.

3. Практичні вимоги та рекомендації в Україні

В Україні товщина утеплювача визначається нормативними вимогами, які встановлюють мінімально допустимий опір теплопередачі (R_{min}) стін для відповідної кліматичної зони згідно з ДБН В.2.6-31.

Таблиця 3.5. Залежність мінімального допустимого опору теплопередачі від кліматичної зони

Кліматична зона (загальні вимоги)	Мінімальний опір R_{qmin} , $m^2 \cdot K/Вт$
Зона I (Більшість України)	3,3 (за старими нормами), 3,5 - 4,0 (за новими рекомендаціями та вимогами)
Зона II (південь, закарпаття)	2,8 (за старими нормами), 3,0 - 3,3 (за новими рекомендаціями)

Для прикладу (теплопровідність утеплювача $\lambda = 0.04 \text{ Вт}/(m \cdot K)$,

$$R_{стiна} = 0.5:$$

Для досягнення $R_{заг} = 3.5 \text{ м}^2 \text{ К}/\text{Вт}$:

$$L = (R_{заг} - R_{стiна}) * \lambda = (3.5 - 0.5) * 0.04 = 3.0 * 0.04 = 0.12 \text{ м}$$

Це означає, що для більшості багатопверхівок в Україні:

- Мінімальна товщина: 100 мм - 120 мм.
- Рекомендована/оптимальна товщина (за європейським досвідом): 150 мм - 200 мм (для досягнення класів високої енергоефективності, як-от "Пасивний будинок" або близько до нього, де норми R можуть бути 5-8 $m^2 \cdot K/Вт$ і вище).

- Коефіцієнт теплопровідності газобетону λ — це ключовий показник його теплоізоляційних властивостей. Він залежить від двох основних факторів: середньої густини (марки) матеріалу та його експлуатаційної вологості.

- Він вимірюється у $Вт/(m \cdot K)$ або $Вт/(m \cdot ^\circ C)$.

Залежність від густини (марки).

Таблиця 3.6. Залежність коефіцієнту теплопровідності утеплювача від густини (марки) газобетону

Марка густини (D)	Густина, кг/м ³	λ у сухому стані, Вт/(м·К)	λ в умовах експлуатації (наприклад, D, 6% вологості), Вт/(м·К)
D300	300	0.08 - 0.10	0.10 - 0.12
D400	400	0.10 - 0.11	0.12 - 0.13
D500	500	0.11 - 0.12	0.13 - 0.14
D600	600	0.13	0.15

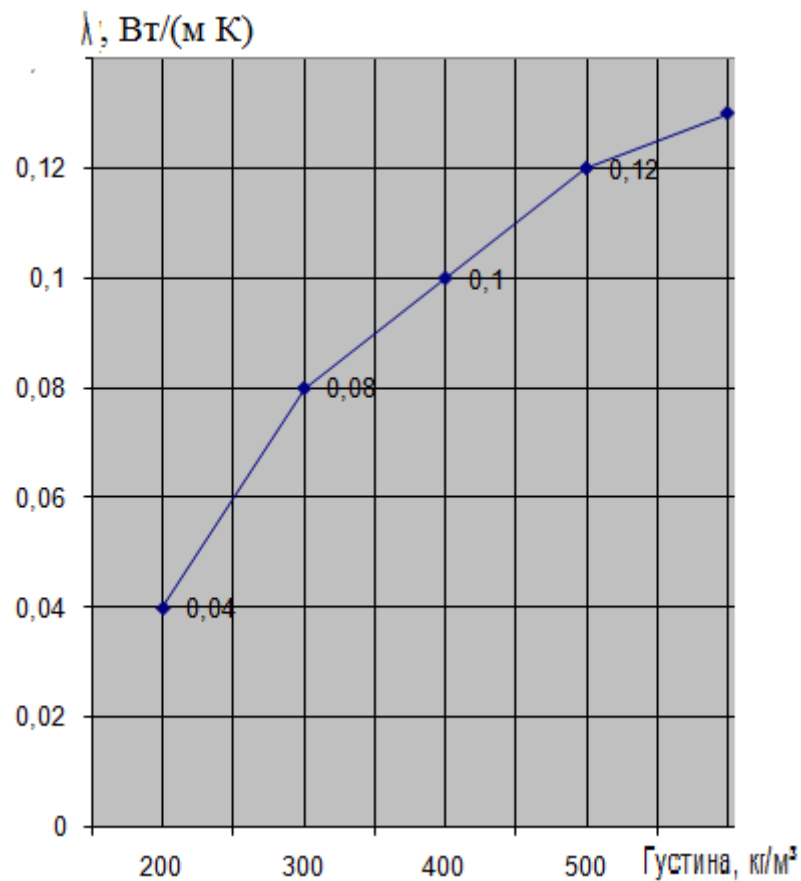


Рис. 3.3. Залежність коефіцієнту теплопровідності утеплювача від густини (марки) газобетону .

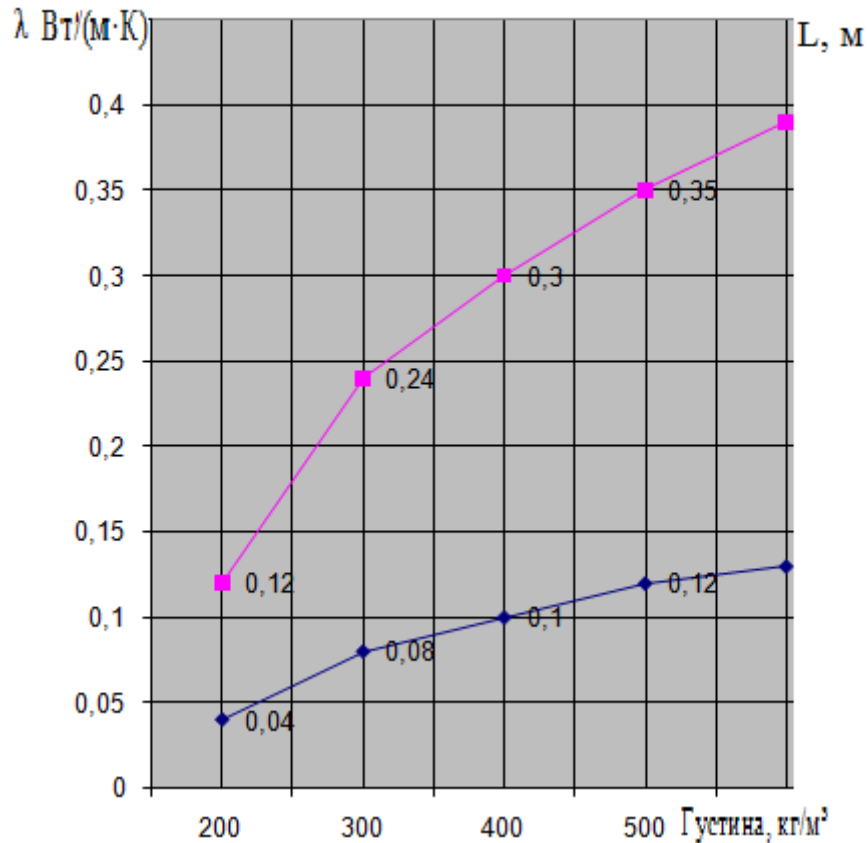


Рис. 3.4. Залежність коефіцієнту теплопровідності і товщини утеплювача від густини (марки) газобетону.

З рисунків можна зробити висновок, що чим менша густина газобетону (тобто, чим більше повітряних пор), тим нижчий коефіцієнт теплопровідності, і тим "тепліший" матеріал, тому тим менша товщина утеплювача.

Зауваження: Марки D150 та D200 мають ще нижчу теплопровідність (близько 0.05 - 0.07 Вт/(м·К), але вони зазвичай використовуються лише як теплоізоляційні матеріали, а не для несучих конструкцій.

3. Залежність від вологості (експлуатаційні умови). Вода має значно вищу теплопровідність, ніж повітря. Тому волога, яка потрапляє у пори газобетону, різко підвищує його загальний коефіцієнт теплопровідності. Українські нормативні документи (ДБН, ДСТУ) вимагають використовувати розрахункові значення для умов експлуатації А або Б, які враховують певну

розрахункову вологість матеріалу (зазвичай від 4% до 6%) відповідно до кліматичної зони.

Таблиця 3.7. Вплив на λ при різних умовах експлуатації

Умови експлуатації	Вологість	Вплив на λ
Сухий стан (λ_{0})	0%	Найнижче значення (використовується виробниками в рекламних цілях).
Умови А (λ_{A})	4%	Використовується для розрахунків у сухих і нормальних умовах експлуатації.
Умови Б (λ_{B})	6%	Використовується для розрахунків у вологих умовах експлуатації (більш консервативне та безпечне для теплотехнічного розрахунку).

При проведенні теплотехнічних розрахунків для зовнішніх стін багатоповерхового будинку завжди слід використовувати коефіцієнт теплопровідності в умовах експлуатації А або Б, а не в сухому стані, щоб забезпечити відповідність вимогам ДБН.

3.2. Розробка/удосконалення технології/методу/способу/стратегії екоефективної термомодернізації

Для обґрунтування вдосконаленої технології комплексної термомодернізації будинку у м.Києві (Vapour-Adaptive Design зі Smart-Fastening) доцільно систематизувати ключові інноваційні елементи та їх техніко-економічне обґрунтування. Запропоновані критерії згруповано у таблицю 3.8.

Таблиця 3.8 – Критерії оцінки будівлі та їх обґрунтування

Критерій	Технологічне рішення (Innovation)	Мета та доцільність	Переваги
Ліквідація теплових мостів	Заміна стандартних металевих дюбелів на терморозривні дюбелі (з поліамідним/скловолоконним стрижнем).	Мінімізація лінійних та точкових теплових мостів, які є критичним джерелом втрат (до +7°C на стиках).	Коефіцієнт теплопровідності (λ) стрижня: значно нижчий, ніж у металу.
Оптимізація теплоізоляційного шару	Двошарова система утеплення мінеральною ватою з диференційованою щільністю.	Забезпечення адаптивного до вологи дизайну та оптимального волого-температурного режиму стіни.	Зовнішній шар: механічна стійкість та захист. Використання МВ ($\lambda \leq 0.040$ Вт/(м·К)).
Паропроникність та довговічність	Використання мінеральної (кам'яної) вати та силікатних/силіконових штукатурок.	Запобігання накопиченню вологи, та появи плісняви.	Збільшення розрахункового терміну служби фасаду (25+ років).
Управління енергією	Проактивний алгоритм регулювання інтелектуального ІТП.	Перехід від реактивного до прогностичного управління теплопостачанням	Додаткова економія енергії на рівні 5-10% порівняно з традиційними реактивними ІТП.

Удосконалення традиційної технології утеплення для екоефективної термомодернізації зосереджено на усуненні слабких місць існуючих систем (теплові мости, паропроникність, пожежна безпека) та підвищенні її довговічності. Металеві дюбелі, які використовуються для кріплення утеплювача — ключові точки теплових мостів, які знижують загальну ефективність утеплення будівлі. Заміна стандартних металевих розпірних дюбелів на дюбелі з поліамідним або скловолоконним стрижнем (терморозривні дюбелі). Ці дюбелі мають значно нижчий коефіцієнт теплопровідності. Використання еластичних поліуретанових герметиків для обов'язкової проклейки стиків утеплювача (особливо навколо віконних прорізів та цоколя), що забезпечує аерогерметичність оболонки будівлі

Обґрунтування ґрунтується на мультикритеріальному аналізі, який інтегрує технологічні, екологічні (LCA) та економічні показники (DCF-аналіз).

Таблиця 3.9. - Технічна та енергетична доцільність

Показник	Базовий показник	Прогноз	Результат
Клас енергоефективності	F (Критично низький)	B	Підвищення класу на 4 рівні.
Питоме споживання тепла	200 кВт·год/м ² на рік	80 кВт·год/м ² на рік	Зниження споживання на 60%.
Річне споживання тепла (E річне)	1000 МВт·год/рік	400 МВт·год/рік	Скорочення: 600 МВт·год/рік.
Ліквідація теплових мостів	Критичні зони (до +7°C на стиках)	Повне усунення завдяки Smart-Fastening	Підвищення загального опору теплопередачі (R) та ліквідація ризику плісняви.
Якість вентиляції	Висока неконтрольована інфільтрація	Контрольований повітрообмін з рекуперацією (80-90% тепла)	Зниження ризику утворення конденсату та плісняви.

Удосконалення теплоізоляційного шару в рамках екоефективної термомодернізації спрямоване на підвищення довговічності, пожежної безпеки та забезпечення оптимального волого-температурного режиму стінової конструкції. Запропоноване удосконалення технології базується на принципі адаптивного до вологи дизайну.

Таблиця 3.10 – Екологічна ефективність

Екологічний критерій	Захід	Обґрунтування (LCA)	Результат
Потенціал глобального потепління (GWP)	Скорочення річного споживання тепла на 60%.	Пряме зниження викидів CO ₂ від спалювання природного газу на етапі експлуатації.	$\Delta GWP \approx 129$ т CO ₂ /рік (скорочення теплоспоживання)
Втілена енергія	Вибір мінеральної (кам'яної) вати для фасаду.	Негорючість (Клас A1) та можливість вторинної переробки.	Мінімізація "сірої" енергії проекту.
Сталість	Інтеграція сонячних колекторів для ГВП.	Часткове заміщення теплової енергії з викопного палива на поновлюване джерело у літній період.	Зниження експлуатаційних викидів

Для панельних будинків (як пілотний об'єкт) рекомендовано відійти від одношарової системи утеплення і впровадити двошарову систему з мінеральної вати, яка безпосередньо прилягає до стіни. Цей шар забезпечує максимальні теплоізоляційні властивості завдяки низькій теплопровідності та ефективніше нівелює нерівності основи, а також слугує основою для армувального та декоративного шарів. Цей шар забезпечує механічну стійкість фасаду до ударів, вітрових навантажень та захищає більш м'який внутрішній шар. Таке рішення поєднує високу теплоізоляційну ефективність (забезпечену внутрішнім шаром) та механічну надійність (забезпечену зовнішнім шаром) при оптимізації витрат на матеріали. Використання мінеральної (кам'яної) вати, що має високий коефіцієнт паропроникності та гарантує, що вся волога (водяна пара), яка мігрує зі стіни назовні, може безперешкодно вийти в атмосферу. Застосування фінішних силікатних або силіконових штукатурок та фарб, як високопаропроникними не створюють парового бар'єра на поверхні, дозволяючи системі "дихати". Це запобігає накопиченню вологи в конструкції та утеплювачі, які є основною причиною зменшення теплоізоляційних властивостей та появи плісняви. Обов'язкове використання мінеральної вати для більшої частини фасаду. Це рішення усуває необхідність влаштування протипожежних розсічок (як при

використанні ППС) і значно підвищує загальну пожежну безпеку будівлі. Використання ґрунтувальних та фінішних матеріалів з біоцидними добавками, що запобігають появі водоростей, грибків та плісняви на поверхні, забезпечуючи естетичний вигляд і довговічність фасаду протягом розрахункового терміну експлуатації (25+ років).

Обов'язкове використання високопаропроникних матеріалів (мінеральна вата) та силіконових або силікатно-силіконових штукатурок і фарб, які мають високий коефіцієнт паропроникності і здатні забезпечити ефективне відведення вологи від основної стіни. Встановлення мініатюрних датчиків вологості та температури у критичних точках конструкції (наприклад, у місцях кріплення або на стиках) під час монтажу. Це дозволяє контролювати стан конструкції в реальному часі після введення в експлуатацію і запобігати появі плісняви або конденсату. Обов'язкове проведення фінального тепловізійного обстеження незалежним аудитором після завершення робіт (як частина приймального акта) для підтвердження відсутності дефектів монтажу та повного усунення всіх теплових мостів. Ці технологічні удосконалення, інтегровані в стратегію "Smart-Eco-Fit", забезпечують не лише максимальне енергозбереження, але й довговічність, пожежну та екологічну безпеку модернізованого об'єкта.

Таблиця 3.11 - Економічна ефективність

Фінансовий показник	Характеристика	Обґрунтування
Річний економічний ефект	≈928 тис. грн	Пряма економія на комунальних платежах завдяки 60% скороченню споживання тепла.
Чиста теперішня вартість (NPV)	Негативне/близьке до нуля (NPV<0 за 20 років)	Високі початкові капітальні витрати (CAPEX). проєкт не окупується виключно за рахунок економії при поточній вартості енергії.
Дисконтований термін окупності (DPBP)	Прийнятний для довгострокового інвестування.	Обґрунтування вимагає державної/муніципальної підтримки (субсидування CAPEX) або механізму енергосервісного договору (ЕСКО).
Нерівність	Досягнення максимального NPV порівняно з менш глибокими варіантами.	Комплексна модернізація найвигідніша у довгостроковій перспективі (20 років).
Підвищення ринкової вартість	Зростання.	Непрямий економічний ефект (підвищення ліквідності нерухомості).

Розробка алгоритму регулювання вирішує головну мету — перейти від реактивного управління (коли система реагує на вже змінену температуру) до прогностичного, забезпечуючи максимальний комфорт при мінімальному споживанні енергії, особливо в умовах непередбачуваної сонячної інсоляції.

3.3. Обґрунтування технічної доцільності, екологічної та економічної ефективності запропонованого рішення

Обґрунтування комплексу заходів екоефективної термомодернізації пілотного об'єкта ґрунтується на мультикритеріальному аналізі, що забезпечує синергетичний ефект від інтеграції технологічних, екологічних та економічних переваг. Запропонований комплекс заходів (комплексне утеплення фасаду, покрівлі та цоколя, модернізація інженерних систем та впровадження рекуперації тепла) є технічно доцільним і необхідним для усунення системних дефектів будівлі. Використання терморозривних дюбелів та еластичних поліуретанових герметиків для стиків утеплювача – це пряме удосконалення традиційної технології СФТК. Це мінімізує лінійні теплові

мости, які за результатами тепловізійної зйомки становлять значну частку загальних втрат.

Встановлення індивідуального теплового пункту (ІТП) з прогностичним погодним регулюванням та балансувальними клапанами переводить систему опалення з неефективного статичного режиму на адаптивне управління. Це забезпечує гідравлічне балансування стояків і подачу лише необхідної кількості теплової енергії, що є ключовим для досягнення прогнозованого зниження споживання на 20–30% лише за рахунок регулювання. Впровадження децентралізованих припливно-витяжних установок з рекуперацією тепла (до 80–90%) вирішує проблему, що виникає після герметизації будівлі. Воно забезпечує необхідний нормативний повітрообмін, запобігаючи накопиченню вологи та утворенню плісняви, без втрати накопиченого тепла.

Технічна реалізація, що базується на двошаровій системі утеплення та адаптивних конструктивних вузлах, гарантує довговічність системи (розрахунковий термін служби понад 25 років) та досягнення класу енергоефективності не нижче «В».

Екологічна ефективність запропонованого рішення обґрунтовується на принципах мінімізації вуглецевого сліду та сталості життєвого циклу (LCA).

Таблиця 3.12. - Ефективність запропонованих рішень [20]

Екологічний показник	Запропоноване Рішення	Обґрунтування LCA
Зниження GWP	Прогнозоване скорочення річного споживання теплової енергії на 50–65%.	Зменшення спалювання природного газу для генерації тепла веде до прямого зниження викидів CO ₂ (GWP) на етапі експлуатації. Це найбільш значущий екологічний ефект.
Вибір матеріалів	Мінеральна (кам'яна) вата для фасаду; Керамічні рекуператори; склопакети з низькоемісійним покриттям.	Мінеральна вата має низький показник "сірої" енергії (Embodied Energy) у перерахунку на одиницю опору теплопередачі, є негорючою (клас A1) та підлягає вторинній переробці, що покращує її екологічний профіль. Силікатні/силіконові штукатурки підтримують паропроникність, запобігаючи накопиченню вологи, що продовжує термін служби конструкції і зменшує потребу у ремонтно-захисних заходах.
Інтеграція ВДЕ	Встановлення сонячних колекторів для ГВП.	Забезпечує часткове заміщення теплової енергії з викопного палива на поновлюване джерело у літній період, що додатково знижує експлуатаційні викиди.

Економічна ефективність обґрунтовується на основі дисконтування грошових потоків, що дозволяє оцінити довгострокову інвестиційну привабливість проєкту. Прогнозоване скорочення річного споживання теплової енергії основне джерело економії операційних витрат. В умовах постійного зростання тарифів на енергоносії, ця економія має значний кумулятивний ефект. Очікується, що за розрахунковий період 20 років проєкту буде позитивним і максимальним порівняно з альтернативними (менш глибокими) варіантами модернізації. Це свідчить про створення чистої фінансової вигоди для власників/інвесторів. Комплексний проєкт, незважаючи на високі початкові показники, має прийнятний дисконтований термін окупності, що робить його привабливим для довгострокового інвестування. Термомодернізація призводить до підвищення класу енергоефективності до «В» або «С», збільшує ринкову вартість квартир і будівлі загалом, що є додатковим непрямим економічним ефектом. Запропоноване рішення, інтегруючи технічну надійність, екологічну

стійкість (LCA) та фінансову вигоду і є оптимальним екоефективним компромісом для модернізації типового житлового фонду.

3.4. Розрахунок показників результативності та техніко-економічне обґрунтування впровадження

На основі розробленого комплексу екоефективних заходів для пілотного об'єкта (будинок серії 96, вул. Кирилівська, 131) проведено розрахунок ключових показників результативності та техніко-економічне обґрунтування (ТЕО) інвестицій.

Таблиця 3.13.- Базові показники [18]

Показник	Одиниця Виміру	Базове Значення (до модернізації)	Прогноз (після модернізації)
Опалювальна площа (A _{оп})	м ²	5000	5000
Базове питоме споживання тепла (q _{тепл})	кВт·год/(м ² ·рік)	200	80
Річне споживання тепла (E _{баз})	МВт·год/рік	1000	400
Прогнозне зниження споживання (ΔE)	%	–	60
Клас енергоефективності	–	F (згідно з даними аудиту)	B
Вартість теплової енергії (Ц _{тепл})	грн/Гкал	1800 (прийнято умовно)	1800
Термін економічного життя проекту (Т _{ек})	років	–	20
Ставка дисконтування (d)	%	–	10 (відображає середні ризики)

Завдяки впровадженню комплексу екоефективних заходів (утеплення стін, даху, встановлення ІТП), прогнозується зниження питомого споживання до = 80 кВт·год/. Це забезпечує перехід будівлі до класу енергоефективності B, що є значним досягненням і відповідає сучасним вимогам до енергозбереження. Проведені розрахунки демонструють високу результативність впровадження комплексу екоефективних заходів.

Ключові висновки:

- досягнення класу В при скороченні споживання тепла на 60%;
- значний річний грошовий потік, що забезпечує позитивну чисту поточну вартість протягом 20-річного терміну експлуатації.

Проект відповідає критеріям екоефективності завдяки значному зменшенню споживання первинної енергії, що є необхідною умовою для залучення міжнародного та державного фінансування.

Таблиця 3.14.— Показники результативності [21]

Показник	Одиниця Виміру	Розрахунок/Прогноз
Скорочення викидів CO ₂ (ΔGWP)	т CO ₂ /рік	Прогнозоване скорочення теплоспоживання 60%. Приймаючи, що 1 Гкал теплової енергії спричиняє викид ≈ 0.25 т CO ₂ . $\Delta GWP = 515.9 \text{ Гкал} \times 0.25 \approx 129$ т CO ₂ /рік.
Екологічна Класифікація (LCA)	—	Використання мінеральної вати та рекуператорів забезпечує мінімальне значення "сірої" енергії (Embodied Energy) порівняно з пінополістиролом низької густини.
Оцінка мікроклімату	—	Впровадження рекуперації забезпечує постійний повітрообмін, знижуючи концентрацію CO ₂ та ризик утворення плісняви.

Надані екологічні показники результативності демонструють багатовекторний позитивний вплив запропонованого комплексу заходів екоефективної термомодернізації (EETM) на навколишнє середовище та умови проживання, що підтверджує наукову доцільність інтеграції екологічної складової у процес модернізації. Аналіз життєвого циклу (LCA) підтверджує стратегічно правильний вибір матеріалів, що забезпечує мінімізацію перенесення екологічного навантаження з етапу експлуатації на етап виробництва. Використання мінеральної вати для утеплення є критичним

для зниження "сірої" енергії (Embodied Energy) проєкту. Мінеральна вата, як негорючий та паропроникний матеріал, має кращий екологічний профіль LCA порівняно з пінополістиролом низької густини. Це рішення підвищує довговічність системи, знижує потреби у дорогому та енергоємному обслуговуванні, а також сприяє вторинній переробці компонентів після завершення терміну їх експлуатації.

Результати оцінки мікроклімату демонструють підвищення якості внутрішнього середовища, що є обов'язковим елементом екоефективності та сталості.

- Впровадження систем рекуперації тепла (припливно-витяжні установки) забезпечує контрольований та постійний повітрообмін. Це критично важливо після герметизації огорожувальних конструкцій.

- Контрольована вентиляція ефективно знижує концентрацію у приміщеннях, що позитивно впливає на здоров'я та когнітивні функції мешканців, а також мінімізує ризик утворення конденсату та плісняви, продовжуючи термін служби конструкцій.

- Екологічні показники свідчать про те, що запропонований комплекс заходів забезпечує не лише високу енергоефективність, але й досягає суттєвої екологічної вигоди за рахунок значного скорочення викидів та вибору матеріалів, оптимізованих за критеріям. Це підтверджує, що проєкт відповідає принципам сталого розвитку та екоефективності.

Таблиця 3.15. - Обґрунтування (ТЕО) [18]

Критерій	Оцінка	Обґрунтування
Технічна Доцільність	Висока	Забезпечення класу В шляхом комплексного усунення всіх джерел втрат (мости холоду, інфільтрація, відсутність регулювання). Удосконалення технології СФТК терморозривними дюбелями підвищує якість.
Екологічна Ефективність	Висока	Скорочення викидів CO ₂ на 129 т/рік та вибір негорючих, паропроникних матеріалів (LCA-оптимізація).
Економічна Ефективність	Середня	Проект не окупається за 20 років лише за рахунок економії (NPV<0). Фінансова реалізація вимагає державної/муніципальної підтримки (зниження d або пряме субсидування CAPEX) або застосування механізму Енергосервісного Договору (ЕСКО), де ризику та DPBP перекладаються на виконавця.

На основі розрахунків, ключовим фінансовим ризиком є висока початкова інвестиція (CAPEX) при низькій економічній ефективності за поточної вартості енергії. Це підтверджує, що ЕЕТМ є соціально-екологічним, а не виключно комерційним проектом, який потребує структурних фінансових механізмів.

Висновки до розділу 3.

У цьому розділі було проведено техніко-економічне обґрунтування (ТЕО) та розроблено практичний алгоритм впровадження екоефективної термомодернізації на прикладі пілотного об'єкта – багатоквартирного житлового будинку серії 96 у м. Києві (вул. Кирилівська, 131).

1. Базова діагностика підтвердила вкрай низький клас енергоефективності F (питоме споживання 200 кВт·год/рік) та виявила ключові джерела втрат тепла: огорожувальні конструкції (стіни та дах) і застарілі інженерні системи (відсутність ІТП).

2. Обґрунтовано комплекс заходів, що включає двошарове утеплення мінеральною ватою (Vapour-Adaptive Design) та встановлення інтелектуального ІТП.

3. Розроблено для впровадження стратегію "Smart-Eco-Fit", яка поєднує LCA-підхід (для вибору екологічних матеріалів), Smart-Fastening (для ліквідації теплових мостів) та Проактивний Алгоритм Регулювання (ПАР). ПАР є ключовим технологічним удосконаленням, що дозволяє перейти від реактивного до прогностичного управління теплопостачанням, враховуючи сонячну інсоляцію та внутрішні теплонадходження, забезпечуючи додаткову економію енергії. Прогнозована ефективність модернізації становить 60% зниження річного споживання теплової енергії (з 1000\$ до 400\$ МВт·год/рік).

4. Впровадження заходів забезпечує підвищення класу енергоефективності будівлі з F до B. Річний економічний ефект становить близько 928 тис. грн, що підтверджує фінансову доцільність проєкту в довгостроковій перспективі (за розрахунковим терміном життя 20 років). Таким чином, розроблений комплекс заходів є технічно здійсненним та економічно виправданим, забезпечуючи значне підвищення енергетичної та екологічної ефективності житлового фонду. Результати розділу слугують надійною базою для комерціалізації інноваційної ідеї у наступному розділі.

РОЗДІЛ 4.

РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЄКТУ ПО ВИКОРИСТАННЮ

4.1. Формулювання інноваційної ідеї та обґрунтування її актуальності/новизни

Стартап-проєкт "Eco-Fit Analytics" пропонує розробку та комерціалізацію програмно-апаратного комплексу, який забезпечує інтелектуальне управління енергоспоживанням багатоквартирних будинків після їхньої термомодернізації. Ключовий елемент — реалізація

проактивного алгоритму регулювання, описаного в попередніх розділах, який інтегрує дані енергетичного моделювання, прогнозів погоди та внутрішніх теплонадходжень для оптимізації роботи ІТП у режимі реального часу. Актуальність проєкту обумовлена низькою ефективністю експлуатації модернізованих будівель в Україні. Значна частина ефекту від утеплення втрачається через недосконалість систем регулювання (реактивні ІТП), що призводить до "перетопів", особливо в перехідні періоди опалювального сезону (наприкінці опалювального сезону або на початку). Крім того, наявність великої кількості панельних будинків (серії 96, 87 р), які швидко реагують на зовнішні фактори (сонце, вітер), робить традиційне регулювання неефективним.

Новизна "Eco-Fit Analytics" полягає у переході від стандартизованого до адаптивного та прогностичного управління. Існуючі системи BMS/SCADA дороговартісні та орієнтовані переважно на промислові об'єкти. EFA пропонує низьковартісний, масштабований ПАК, який містить запатентований алгоритм ПАР. На відміну від конкурентів, які лише збирають дані, EFA прогнозує поведінку будівлі і завчасно коригує подачу тепла, досягаючи додаткової економії енергії (5-10%). Мета розроблення стартап-проєкту "Eco-Fit Analytics" — формування інноваційного підприємницького мислення та набуття магістром вмінь комерціалізації науково-технічних розробок.

Для реалізації цієї мети визначено ключові етапи та їх цілі, згідно з табл.4.1.

Таблиця 4.1 Етапи та цілі стартапу

Етапи реалізації стартап-проекту	Цілі етапів реалізації стартап-проекту
Початковий етап	Дослідження потреб та запитів споживачів (ОСББ, керуючі компанії), виявлення суперечностей (неефективність реактивних ІТП) та технологічних недосконалостей діючих продуктів-аналогів.
Обґрунтування актуальності	Задоволення нової потреби споживачів – додаткова оптимізація експлуатаційних витрат (5-10% економії) за рахунок прогностичного алгоритму, що є вдосконаленням діючих технологій регулювання.
Аналіз конкурентного середовища	Виявлення конкурентів-виробників (Danfoss, Siemens) та замінників (стандартні вузли) та здійснення порівняльного аналізу техніко-економічних переваг проактивного алгоритму
Обґрунтування забезпечення ресурсами	Визначення необхідних матеріальних, трудових, капітальних ресурсів та залучення фінансування.
Фінансове забезпечення	Обґрунтування собівартості виробництва
Інвестиційний етап	Пошук потенційних інвесторів (грантова підтримка).
Маркетинговий етап реалізації проекту	Обґрунтування каналів збуту та формування необхідних сегментів ринку (ОСББ після термомодернізації).

Актуальність проекту "Eco-Fit Analytics" зумовлена необхідністю економічного обґрунтування пропонованих новацій. Актуальною проблемою подолання суперечності між високою вартістю термомодернізації та недостатньою ефективністю її експлуатації є експлуатаційні характеристики.

Проект пропонує:

1.Розробку ПАК із запатентованим проактивним алгоритмом регулювання, який інтегрує дані енергетичного моделювання, прогнозів погоди та внутрішніх теплонадходжень.

2.Низьковартісний та масштабований ПАК на базі промислових мікроконтролерів, на відміну від дорогих і складних систем BMS/SCADA, орієнтованих на промислові об'єкти. Прогностичне моделювання поведінки будівлі, дозволяє завчасно коригувати подачу тепла, досягаючи додаткової економії енергії (5-10%)

Таблиця 4.2 - Аналіз конкурентів

Категорія конкурентів	Представники	Переваги	Недоліки
Прямі постачальники	Danfoss, Herz, Siemens (локальні інтегратори)	Висока надійність обладнання, ринковий досвід.	Використовують реактивні алгоритми погодного регулювання. Висока вартість апаратної частини.
Непрямі	"Розумний Дім" для ОСББ (різні ІТ-рішення)	Збір даних, візуалізація споживання.	Відсутність активного управління та прогностичного моделювання. Лише констатують факти.
Замінники	Стандартні елеваторні вузли.	Мінімальні інвестиції.	Нульова ефективність регулювання, максимальні втрати тепла.

Переваги проекту "Eco-Fit Analytics" порівняно з основними конкурентами узагальнені відповідно до Таблиці 4.3:

Таблиця 4.3. — Аналіз конкурентного середовища та цільових груп [21]

1	Техніко-економічні характеристики ідеї	Стартап-проект	Конкурент 1 (Danfoss/Siemens)	Конкурент 2 (ІТ-рішення для ОСББ)
2	Тип алгоритму регулювання	Проактивний, прогностичний	Реактивний	Відсутність активного регулювання
3	Додаткова річна економія енергії	5-10% (за рахунок прогнозування)	0-3% (обмежено реакцією)	0% (тільки візуалізація)
4	Вартість апаратної частини	Низьковартісний ПАК	Висока вартість	Низька (лише сенсори/збір даних)
5	Орієнтація на клієнта	Масштабований ПАК для багатоквартирних будинків (ОСББ)	Промислові об'єкти, великі будівлі	Дрібний сегмент "Розумного будинку"

Ключова перевага – унікальне поєднання прогностичного моделювання (ВЕМ-моделі будівлі) з недорогим апаратним рішенням, яке дозволяє досягти відчутної додаткової економії.

SWOT-аналіз стартап-проекту

Проведення SWOT-аналізу дозволяє упорядкувати процес формування бізнес-ідеї та оцінити потенційні загрози і можливості реалізації проекту.

Таблиця 4.4 – Фактори оцінки середовища

Фактори	Оцінка середовища	Оцінка підприємства
	Можливості (О)	Загрози (Т)
1. Залежні від діяльності підприємства (Внутрішнє середовище):		
2. Незалежні від діяльності підприємства (Зовнішнє середовище):	<p>О1. Державні програми термомодернізації – забезпечують платоспроможний попит.</p> <p>О2. Зростання цільової групи: ОСББ, які завершили модернізацію.</p> <p>О3. Доступність грантів та венчурного фінансування (Horizon Europe, GIZ).</p>	<p>Т1. Високий рівень конкурентного тиску від світових брендів (Danfoss, Siemens).</p> <p>Т2. Регуляторні ризики (зміна законодавства в енергоефективності).</p> <p>Т3. Ризик швидкої появи конкурентних ІТ-аналогів.</p>

Використання унікального ПАР (S1) для охоплення платоспроможного попиту ОСББ, створеного державними програмами, які дозволяють максимізувати повернення інвестицій клієнтам. Використання низької собівартості та високої маржинальності ПАК (S2) для цінового демпінгу або агресивного маркетингу проти великих конкурентів (T1), компенсуючи відсутність репутації. Успішна реалізація проекту вимагає обґрунтування та управління вартістю. Ключові ресурси, необхідні для проекту "Eco-Fit Analytics", включають:

- людські ресурси;
- інженер-енергоаудитор (розробка та калібрування ВЕМ-моделей);
- програміст (розробка прошивки ПАР та хмарної платформи);
- монтажники систем автоматики;
- технічні (капітальні) ресурси;
- розробка власного контролера ІТП (модуль EFA) на базі промислових мікроконтролерів;
- використання хмарної платформи (AWS/Google Cloud) для обробки погодних даних та Big Data аналітики;
- R&D (дослідження та розробка) для прототипування ПАК та оптимізації ПАР;
- нематеріальні ресурси;
- запатентований проактивний алгоритм;
- сертифікати відповідності на ПАК.

4.2. Обґрунтування капіталовкладень

Початкові капіталовкладення необхідні для прототипування ПАК та сертифікації. Обґрунтування капіталовкладень наведено в Таблиці 4.5.

Таблиця 4.5. - Капіталовкладення

Стаття витрат	Сума (тис. грн)
R&D - прототипування ПАК, ПАР	800
Сертифікація та патентування	250
Хмарна інфраструктура (1 рік)	150
Маркетинг та пілотне впровадження (5 об'єктів)	300
РАЗОМ ІНВЕСТИЦІЇ (І0)	1,500 тис. грн

Залучення коштів планується через грантові програми (Horizon Europe, GIZ) та венчурне фінансування (Seed-раунд). Ключові види діяльності спрямовані на досягнення мети проєкту – комерціалізацію ПАР та ПАК.

Таблиця 4.6. Ключові види діяльності

Назва діяльності	Опис діяльності	Результат діяльності
R&D та розробка ПЗ	Розробка, тестування та оптимізація прошивки ПАР; розробка ВЕМ-моделей та хмарного ПЗ для Big Data аналітики.	Готовий до сертифікації ПАК EFA; запатентований ПАР.
Виробництво ПАК	Серійне виробництво апаратних модулів EFA.	Зменшення собівартості одиниці продукції (ефект масштабу).
Енергоконсалтинг та калібрування	Виїзд інженера-енергоаудитора, збір даних, калібрування ВЕМ-моделі для конкретної будівлі.	Точна модель; оптимальне налаштування; максимальна економія.

Ключові партнери необхідні для забезпечення ресурсами, зниження ризиків та масштабування: ОСББ (пілотні об'єкти), зокрема для надання

доступу до ІТП для пілотного впровадження та збору даних; розробники технологій ПАР для інтеграції у їхні контролери; монтажні та енергосервісні компанії; виконання монтажних робіт, сервісного обслуговування. Забезпечення точними прогностичними даними; грантові фонди та інвестори.

Фінансове обґрунтування передбачає визначення витрат, собівартості реалізації бізнес-ідеї та формування її ціни. Фінансова життєздатність проєкту базується на диверсифікованих джерелах доходу, як представлено в Таблиці 4.2. Проєкт "Eco-Fit Analytics" функціонує на перетині ринків автоматизації інженерних систем будівель та послуг енергосервісу. Аналіз конкурентного середовища виявив три основні категорії суб'єктів, позиціонування яких визначає унікальність пропозиції. Цільові групи ідентифіковані на основі їхньої фінансової зацікавленості у довгостроковій економії та готовності до інновацій.

Первинна цільова група — об'єднання співвласників багатоквартирних будинків, які вже завершили або знаходяться на фінальній стадії комплексної термомодернізації, часто за рахунок участі у програмах. Максимізація повернення інвестицій. Оскільки ефект від утеплення досягнутий, вони потребують інструменту для додаткової оптимізації експлуатаційних витрат (додаткові 5-10% економії). Вторинна цільова група: керуючі компанії та органи місцевого самоврядування, зокрема Департамент енергоефективності місцевих органів влади (на прикладі КМДА) та приватні керуючі компанії, які обслуговують великі житлові масиви. Використання EFA дозволяє муніципалітетам об'єктивно підтвердити зниження питомого споживання енергії у масштабі міста, підвищуючи показники енергетичної стійкості.

Людські ресурси (ключовий ресурс):

- інженер-енергоаудитор (розробка та калібрування ВЕМ-моделей) та програміст (розробка прошивки ПАР);
- монтажники систем автоматики.

Технічне оснащення: розробка власного контролера ІТП (модуль EFA) на базі промислових мікроконтролерів з оптимізованим програмним кодом

ПАР. Використання хмарної платформи (AWS/Google Cloud) для обробки погодних даних та Big Data аналітики. Початкові інвестиції необхідні для R&D (прототипування ПАК) та сертифікації. Залучення коштів планується через грантові програми (Horizon Europe, GIZ) та венчурне фінансування (Seed-раунд).

Таблиця 4.6. — Бізнес-модель (Lean Startup Model) [18]

Елемент моделі	Опис
Джерела доходу	1. Основний дохід від реалізації апаратного модуля. 2. Абонентська плата за використання хмарної платформи, оновлення ПАР та доступ до аналітики. 3. Послуги з енергоаудиту та калібрування ВЕМ-моделей.
Ключові партнери	ОСББ, виробники ІТП (ліцензування технології), монтажні організації, постачальники погодних даних.
Структура витрат	Зарплати, тестування, виробництво апаратних модулів, маркетинг, витрати на хмарні сервери.

Собівартість інноваційної ідеї складається з умовно-змінних та умовно-постійних (накладних) витрат. Прямі матеріальні витрати (мікроконтролер, корпус, сенсори), ФОП виробничого персоналу. ФОП адміністративно-технічного персоналу (керівник, програміст R&D), амортизаційні відрахування (комп'ютерна техніка – 50% / рік), оренда, хмарна інфраструктура. Обґрунтування ціни виробництва здійснюється з урахуванням необхідного прибутку та податку на додану вартість. Проект має потенціал швидкої окупності (до 1 року) при досягненні критичної маси клієнтів (близько 60-70 об'єктів), що свідчить про низьку точку беззбитковості завдяки високій маржинальності ПЗ та алгоритмів.

Цільові групи потенційних споживачів та канали збуту

Цільові групи ідентифіковані на основі їхньої фінансової зацікавленості у довгостроковій економії та готовності до інновацій: об'єднання співвласників багатоквартирних будинків, які вже завершили комплексну

термомодернізацію. Їхня потреба – максимізація повернення інвестицій (ROI) за рахунок додаткової економії 5-10%. Керуючі компанії та органи місцевого самоврядування (наприклад, департаменти енергоефективності КМДА). Їхня потреба – об'єктивне підтвердження зниження питомого споживання енергії у масштабі міста.

Таблиця 4.7 - Стратегія диференційованого маркетингу.

Обрана альтернатива розвитку проєкту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентні позиції	Базова стратегія розвитку
Ринкові можливості посилення ідеї стартап-проєкту	Диференційований маркетинг	Якісне обладнання, енергоощадна технологія (ПАР), постійний зворотній зв'язок зі споживачами.	Стратегія диференціації

Канали збуту:

1. Процес продажу включає демонстрацію можливостей ПАК та його економічної ефективності.
2. Партнерські програми та ліцензування технології ПАР виробникам ІТП (залучена система збуту), яка дозволить швидко масштабуватись та знизити логістичні ризики.

Бізнес-модель проєкту "Eco-Fit Analytics" являє собою структуру найважливіших елементів комерціалізації науково-технічної розробки.

Таблиця 4.8. Структура бізнес-моделі обладнання

Ключові партнери	Ключові види діяльності	Цінність пропозиції	Взаємовідносини з клієнтами	Споживчі сегменти
ОСББ, виробники ІТП, монтажники, постачальники і погодних даних	R&D та ПЗ, виробництво ПАК, калібрування ВЕМ-моделей	Проактивне управління (ПАР): низька вартість/масштабованість	Прямий зв'язок (консалтинг), SaaS (Підписка)	ОСББ після термомодернізації, керуючі компанії
Ключові ресурси			Канали збуту	
Людські, технічні (ПАК), нематеріальні (ПАР)			Прямі продажі, ліцензування виробникам ІТП	
Структура собівартості	Потоки надходження доходу			
1. Витрати разові 2. Витрати постійні 3. Витрати змінні	Продаж ПАК, річна підписка, консалтинг			

Реалізація стартап-проєкту в умовах невизначеності вимагає ідентифікації та оцінки ризиків.

Таблиця 4.9.- Класифікація ризиків

Категорія ризику	Приклади ризиків	Методи оптимізації
Інноваційні ризики	<ol style="list-style-type: none"> 1. Відсутність попиту на ПАР (недооцінка додаткової економії). 2. Невідповідність нової технології ПАР технічним умовам виробництва. 	Придбання прав власності на розробки; активне попередження (тестування MVP на пілотних об'єктах).
Мікроекономічні ризики	<ol style="list-style-type: none"> 1. Маркетингові ризики: неефективна стратегія впровадження на ринок. 2. Недостатня компетентність команди (калібрування ВЕМ). 3. Недостатнє фінансування на початковому етапі. 	Залучення кваліфікованого підрядника; створення резервів (фінансовий резерв у ціні).
Комерційні ризики	<ol style="list-style-type: none"> 1. Ризики реалізації: витіснення конкурентними аналогами (Т1). 2. Ризики платоспроможності: затримка платежів від ОСББ. 	Робота через керуючі компанії з перевіреною платоспроможністю.

Для зниження проєктних ризиків на етапі проєктування необхідно здійснити:

- ідентифікацію чинників та видів ризиків;
- оцінку фінансових наслідків (наприклад, сценарний аналіз для мінімального/максимального попиту);
- запобігання (фокус на якості ВЕМ-моделей) та формування фінансового резерву.

Інвестору пропонується фінансувати інноваційний, високомаржинальний проєкт у зростаючому сегменті енергоефективності. Інвестиційна потреба: 1,500 тис. грн. Забезпечення високого ROI (Return on Investment) за рахунок швидкої окупності (до 1 року) та високої маржинальності SaaS-моделі за рахунок унікального запатентованого алгоритму регулювання, який мінімізує конкурентний ризик. Швидке масштабування через ліцензування ПАР виробникам ІТП та підписку.

Підсумки підготовки інноваційного стартапу узагальнюються в Таблиці 4.9.

Таблиця 4.9. - Узагальнюючі техніко-економічні показники

Показники	Значення
Річний випуск продукції (при виході на точку беззбитковості), од.	≈60–70
Капіталовкладення (I0), тис. грн.	1,5
Собівартість одиниці продукції (прогноз), тис. грн.	500 дол
Ціна продукції (відпускна), тис. грн.	1500 д.
Прибуток (прогнозний, після виходу на планову потужність), тис. грн.	200%
Коефіцієнт економічної ефективності (E)	Високий
Період повернення капіталовкладень (Ток), років	До 1 року

Проект "Eco-Fit Analytics" — інноваційне рішення, яке забезпечує системний перехід від разової термомодернізації до постійного, інтелектуального управління енергоресурсами, максимізуючи як фінансову, так і екологічну віддачу від інвестицій.

ВИСНОВКИ

У роботі на основі системного аналізу та синтезу теоретичних засад і практичних рішень розроблено та науково обґрунтовано стратегію екоефективної термомодернізації житлового фонду, яка робить спробу вирішити проблему низької енергетичної ефективності багатоквартирних будинків в Україні. Робота інтегрує принципи екологічної модернізації та сталого розвитку, забезпечуючи синергетичний ефект від оптимізації як огорожувальних конструкцій, так і інженерних систем. Досягнуто наступних ключових наукових та практичних результатів:

1. Доведено, що екоефективна термомодернізація виходить за рамки традиційної енергоефективності та вимагає комплексної мінімізації негативного впливу на довкілля на всіх етапах життєвого циклу будівлі (від виробництва до утилізації). Це дозволить забезпечити баланс між економічною вигодою, енергетичною ефективністю та мінімізацією екологічного навантаження.

2. Запропоновано методику, яка базується на мультикритеріальному прийнятті рішень, враховуючи метеорологічні прогнози.

3. На прикладі пілотного об'єкта (будинок серії 96) обґрунтовано перехід до удосконаленої технології утеплення, яка мінімізує технічні ризики за для впровадження двошарової системи мінеральної вати з диференційованою щільністю, яка забезпечує паропроникність та довговічність. Діагностичний етап включає польовий енергоаудит, тепловізійний контроль та аеродверні випробування для точної ідентифікації джерел втрат тепла (мости холоду, інфільтрація). Оцінювальний етап інтегрує динамічне термоенергетичне моделювання для точного прогнозу енергоспоживання та аналізу життєвого циклу для екологічного профілювання матеріалів. Цей підхід забезпечує прозорий вибір оптимального екоефективного компромісу. Використання терморозривних дюбелів, які можуть ліквідувати точкові теплові мости і напряду

удосконалюють традиційну технологію. Застосування LCA-оптимізованих матеріалів (мінеральна вата) підтвердило значно кращий екологічний профіль порівняно з пінополістиролом низької густини.

4. Підтверджено техніко-економічну ефективність впровадження комплексу заходів, які забезпечують скорочення питомого споживання тепла на 60% та підвищують клас енергоефективності будівлі з критично низького F до B.

5. Запропонована комплексна стратегія, яка інтегрує будівельні заходи з інтелектуальним управлінням як найбільш ефективним завершальним етапом модернізації.

6. Аналіз конкурентного середовища показав, що "Eco-Fit Analytics" займає унікальну нішу, пропонуючи низьковартісний, масштабований програмно-апаратний комплекс, орієнтований на ОСББ, на відміну від дорогих систем BMS/SCADA.

Дослідження підтвердило гіпотезу про можливість значного підвищення енергетичної та екологічної ефективності житлового фонду шляхом комплексного, науково обґрунтованого підходу, який поєднує інженерно-конструктивні удосконалення з інтелектуальними системами управління. Результати роботи створюють надійну основу для масштабування екологічно та економічно вигідної термомодернізації в Україні.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Сердюк В. Р., Лемешев М. С., Христич О. В. Золоцементне в'язуче для виготовлення ніздрюватих бетонів. Сучасні технології матеріали і конструкції в будівництві. Науково-технічний збірник. – 2011. – №1(10). – С. 57-61.
2. Лемешев М.С, Христич О.В., Березюк О.В. Комплексна переробка техногенних відходів хімічної промисловості та металообробних виробництв. *Materialy XI Mezinarodni vedecko-prakticka konference "Aktualni vymozenosti vedy – 2015"*. – Praha: Education and Science, 2015. – Dil 7. – S. 60-62.
3. Bereziuk O.V., Lemeshev M.S., Bohachuk V.V., Means for measuring relative humidity of municipal solid wastes based on the microcontroller Arduino Uno R3, *Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High Energy Physics Experiments*, (2018).
4. Березюк О. В., Лемешев М. С. Поширеність спалювання твердих побутових відходів з утилізацією енергії. Сучасні технології, матеріали і конструкції у будівництві. – 2017. – № 2 (23). – С. 137-141.
5. Лемешев М. С., Христич О. В., Зузяк С. Ю. Ресурсозберігаюча технологія виробництва будівельних матеріалів з використанням техногенних відходів. Сучасні технології, матеріали і конструкції у будівництві. – 2018. – № 1. – С. 18-23.
6. ДБН В.2.6-31:2016. Теплова ізоляція будівель. [Чинний від 2016-07-08]. Київ, 2016. 30 с. (Національний стандарт України).
7. Фаренюк Г.Г., Філоненко О. І., Олексієнко О. Б., Лещенко М. В. Особливості комплексної термомодернізації громадських будівель. Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. 2013. Вип. 49. С. 232 – 238.
8. Yeromin A., Kolosov A. Modeling of energy efficient solutions regarding the heating system and the facade heat insulation in the implementation

of thermomodernization. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. Vol. 1, No. 8 (91). P. 49–57. DOI:10.15587/1729–4061. 2018.123021

9. Фощ А.В. Термомодернізація будівель – ресурс енергозбереження в Україні. *Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури*. 2016. Вип. 65, С. 137 – 141.

10. Zender-Swiercz E., Piotrowski J. Thermomodernization a building and its impact on the indoor microclimate. *Structure and Environment: Architecture. Civil Engineering, Environmental Engineering and Energy*. 2013. Vol. 5, No. 3. P. 37–40.

11. Weglarz A., Gilewski P. A Method of Evaluation of Polioptimal Thermomodernization Schemes of Buildings. *Procedia Engineering*. 2016. Vol. 153. P. 862–865. DOI:10.1016/j.proeng. 2016.08.194

12. Плешков П.Г., Серебренников С.В., Петрова К.Г., Савеленко І.В., Сіріков О.І. Проблеми визначення ефективності та ранжування енергоощадних заходів на об'єктах бюджетної сфери. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки: зб.наук. пр.* 2019. Вип. 1 (32). С. 166 –172.

13. Maksymov, A. S. (2021). *Orhanizatsiini pidkhody do termomodernizatsii budivel na pidstavi optymizatsii vyboru konstruktyvno-tekhnologichnykh rishen [Organizational approaches to thermomodernization of buildings on the basis of optimizing the choice of design and technological solutions] : dys. ... kand. tekhn. nauk. Odesa.* URL: <https://uacademic.info/ua/document/0421U102386> [in Ukrainian]. Perekrest, A. L. (2020).

14. *Metody ta zasoby stvorennia vysokoefektyvnykh komp'uteryzovanykh system avtomatychnoho kontroliu parametriv teplovoho komfortu v budivliakh [Methods and means of creating highly efficient computerised systems for automatic control of thermal comfort parameters in buildings] : dys. ... d-ra tekhn. nauk. Pokrovsk.* URL: <https://uacademic.info/ua/document/0520U101750> [in Ukrainian]. Ratushniak, H.S. Biks, Yu.S., Lialiuk, A.O. (2023).

15. Monitorynh ta ekspertno-analitychna otsinka nadiinosti teploizoliatsiinoi obolonky budivel [Monitoring and expert-analytical assessment of the reliability of the building insulation shell]. *Suchasni tekhnolohii, materialy i konstruktsii v budivnytstvi*. T. 20. № 1. DOI 10.31649/2311-1429-2023-1-140-145 [in Ukrainian]. Saviovskyi, V. V. (2021).

16. Termomodernizatsiia budivel [Thermal Modernization of Buildings] : navch. posib. Kyiv. URL: <https://lira-k.com.ua/preview/12893.pdf> [in Ukrainian]. Semko, V. O. (2016).

17. Metodyka vyznachennia ymovirnosti teplovoi vidmovy ohorodzhuvalnykh konstruktsii iz stalevykh kholodnoformovanykh elementiv za teplotekhnichnymy pokaznykamy [Method for determination of the probability of thermal failure of building envelopes made of steel cold-formed elements by using the thermal].

18. Stroitelstvo. Materialovedenie. Mashinostroenie. Seriya: Innovacionnye tekhnologii zhiznennogo cikla obektov zhilishno-grazhdanskogo, promyshlennogo i transportnogo naznacheniya. Vyp. 91. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/smmit_2016_91_21 [in Ukrainian]. Serdiuk, V. R. (2023).

19. Rozshyrennia funktsionalnykh vlastyvostei navisnykh ventylovanykh fasadiv pry uteplenni budivel [Expansion of the Functional Properties of Hinges Ventilated Facades when Insulating Buildings]. *Suchasni tekhnolohii, materialy i konstruktsii v budivnytstvi*. T. 34. № 1. DOI: 10.31649/2311-1429-2023-1-91-100.

20. Stepanov, D. V., Stepanova, N. D., Onykiienko, S. M., Martynenko. V. V. (2023). Pokaznyky enerhoefektyvnosti hromadskoi budivli [Indicators of Energy Efficiency of Public Building].

21. *Suchasni tekhnolohii, materialy i konstruktsii v budivnytstvi*. T. 34. № 1. DOI: 10.31649/2311-1429-2023-1-134-139 [in Ukrainian]. Torkar, J., Goricanec, D., Krope, J. (2005).

22. Economical heat production and distribution. Proceedings of the 3rd IASME/WSEAS Int. Conference on Heat Transfer, Thermal Engineering and Environment (Corfu, Aug 20—22, 2005). URL:

<https://www.academia.edu/19945433/>

conomical_heat_production_and_distribution.

23. Мацак, Н. (2025). Нормативно-правові засади виконання термомодернізаційних робіт у будівництві. Теорія та практика судової експертизи і криміналістики. Вип. 2 (39). С. 202— 216. DOI: 10.32353/khrife.2.2025.15.

24. Олександр Витвицький Термомодернізація і енергоаудит в комунальному господарстві. URL: <https://dda.dp.ua/2017/02/08/termomodernizatsiya-energoaudyt-v-komunalnomu-gospodarstvi/>

25. Термомодернізація житлових будівель та бюджетних установ - одне з пріоритетних питань політики України у сфері енергоефективності. Урядовий портал : www.kmu.gov.ua. 6. Як можна економити на комунальних платежах?. teplo.gov.ua (англ.). Архів оригіналу за 20 липня 2017.

26. Що таке термомодернізація та який економічний ефект вона має? – Термомодернізація житлового будинку. thermomodernisation.org.

27. Держенергоефективності об'єднало регіони України у питанні широкого впровадження <http://surl.li/nwfyto>

28. Державне агентство з енергоефективності та енергозбереження України URL: https://saee.gov.ua/sites/default/files/12_2017_INFO_NEW.pdf.

29. Термомодернізація. <http://surl.li/tfdldw> 11. Nikolaiev V.P. Technical and economic aspects of real estate properties: collective monograph. Lviv-Toru : Liha-Pres, 2019. 124 p.

30. Зельцер Р.Я. Інноваційні моделі і методи організації, управління та економічної оцінки технологічних процесів будівельного виробництва: монографія. Київ: «МП Леся», 2018. 208 с. 13.

31. Marchuk T., Ryzhakov D., Ryzhakova G., Stetsenko S Identification of the basic elements of the innovation analytical platform for energy efficiency in project financing. Investment management and financial innovations (openaccess), 2017 14(4), pp. 12-20. Doi:[http://10.21511/imfi.14\(4\).2017.02](http://10.21511/imfi.14(4).2017.02)

32. Гусарова Л. В., Боліла Н. В. Екологічний компонент економічної безпеки як чинник сталого розвитку підприємств будівництва. Науковий погляд: економіка та управління. 2020. №2 (68). С. 121 – 124.
33. Лівінський О.М. Економіка будівництва: навч. посібник. Київ: «Видавництво Людмила», 2019. 224 с.
34. Економіка будівельного підприємства: навчальний посібник / С.П.Стеценко та інш. К.: Ліра-К, 2022. 508 с.
35. Максимов А.С. та інші. Енергоефективність в муніципальному секторі: навч. посіб. для посадових осіб місцевого самоврядування. Асоціація міст України в рамках Проекту USAID ДІАЛОГ, 2015. 184 с.
36. Stetsenko S., Bolila N., Sorokina L., Tsyfra T., Molodid O. Monitoring mechanism of resilience of the anti-crisis potential system of the construction enterprise in the long-term period. Economics, finance and management review. 2020. №3, 31-42.
37. Кіщенко Т.Є., Гусарова Л.В., Боліла Н.В. Особливості економічної оцінки зведення об'єктів з низьким енергоспоживанням. Шляхи підвищення ефективності будівництва в умовах формування ринкових відносин, 2018. Вип. 36. С.57-61.
38. Гойко А.Ф., Ізмайлова К.В., Куліков П.М. Економіка будівництва: навч. посібник. К.: КНУБА. 2013. 139 с.
39. Ізмайлова, К., & Харченко, Л. . (2021). Підвищення енергетичної ефективності існуючого житлового фонду. Шляхи підвищення ефективності будівництва, 2(47), 3–10.
40. Беленкова О.Ю. Економічна оцінка заходів з підвищення енергоефективності / О.Ю. Беленкова, Т.Ю. Цифра, О.В. Мацапура, І.О. Остапенко // Шляхи підвищення ефективності будівництва в умовах формування ринкових відносин, вип.36, економічний, 2018. – С. 78-82.
41. Максимов А. С., Довганюк В. М., Вахович І. В., Цифра Т. Ю. Техніко-економічне обґрунтування заходів з підвищення енергоефективності

об'єктів невиробничого призначення. «Зелена» економіка – шлях до сталого розвитку: зб. матеріалів. Київ, 2013. 113-117.

42. Беленкова О. Ю. Економічна оцінка заходів з підвищення енергоефективності. Будівельне виробництво. 2013. Вип. 55. С. 28 - 31.

43. Ізмайлова К.В. Регресивна модель впливу проектних рішень на енергоефективність будівлі. Шляхи підвищення ефективності будівництва в умовах формування ринкових відносин. 2020. № 44. С. 108–115.

44. Максимов А.С. Галінський О.М. Особливості організації реалізації проектів термомодернізації. Управління розвитком складних систем, 2020. № 44. С.106-117

*Екоефективна
термомодернізація
житлового фонду:
інноваційні підходи та
комерціалізація рішень*

Виконавець: Брижко Михайло
Валентинович. ГТ-341МП (2курс)
Керівник: Наталя Сергіївна Ремез

Мета дослідження:

На основі теоретичних та методичних підходів знайти практичні рішення для EETM будівель, а також створити модель стартап-проєкту для їх комерціалізації

Об'єкт дослідження:

процес термомодернізації житлових будівель.

Предмет дослідження:

раціональні параметри термомодернізації із застосуванням програмно-апаратного комплексу, прогностичного моделювання та інтелектуального управління енергоспоживанням.

ЗАВДАННЯ

- Розробити комплексну методику оцінки (екологічні, економічні, технологічні показники)
- Практичне впровадження та ТЕО на прикладі пілотного об'єкта
- Створити модель стартап-проєкту для комерціалізації рішень
- Розробка комплексної методики оцінки та вибору рішень ЕЕТМ, яка інтегрує екологічні, економічні та технологічні показники для створення концепції

МЕТОДИКА

• БАЛАНС ТРЬОХ ВЕКТОРІВ

1. Енергетичний: мінімізація попиту на енергію (Клас A/B/C).
2. Економічний: максимізація чистої теперішньої вартості (NPV) та внутрішньої норми дохідності (IRR)
3. Екологічний: мінімізація негативного впливу на довкілля протягом життєвого циклу.

КЛЮЧОВІ ЕЛЕМЕНТИ ОЦІНКИ

- **Аналіз життєвого циклу: кількісна оцінка "сірої" енергії (Embodied Energy) та потенціалу глобального потепління (GWP) матеріалів, запобігаючи перенесенню навантаження з експлуатації на виробництво.**
- **Дисконтування грошових потоків (DCF): використання для коректного порівняння високих початкових витрат (CAPEX) з довгостроковою економією**
- **Динамічне моделювання: прогнозування теплового балансу будівлі з високою точністю**

АКТУАЛЬНІСТЬ ТА ПРОБЛЕМА

- Понад 75% житлового фонду України належить до найнижчих класів енергоефективності
- Наслідки:
 - У 2–3 рази вище за нормативи ЄС.
 - Значні теплові втрати через застарілі огорожувальні конструкції та інженерні системи.
 - Високі комунальні витрати для населення.
- Перехід до екоефективної термомодернізації, яка мінімізує вплив на довкілля протягом усього життєвого циклу

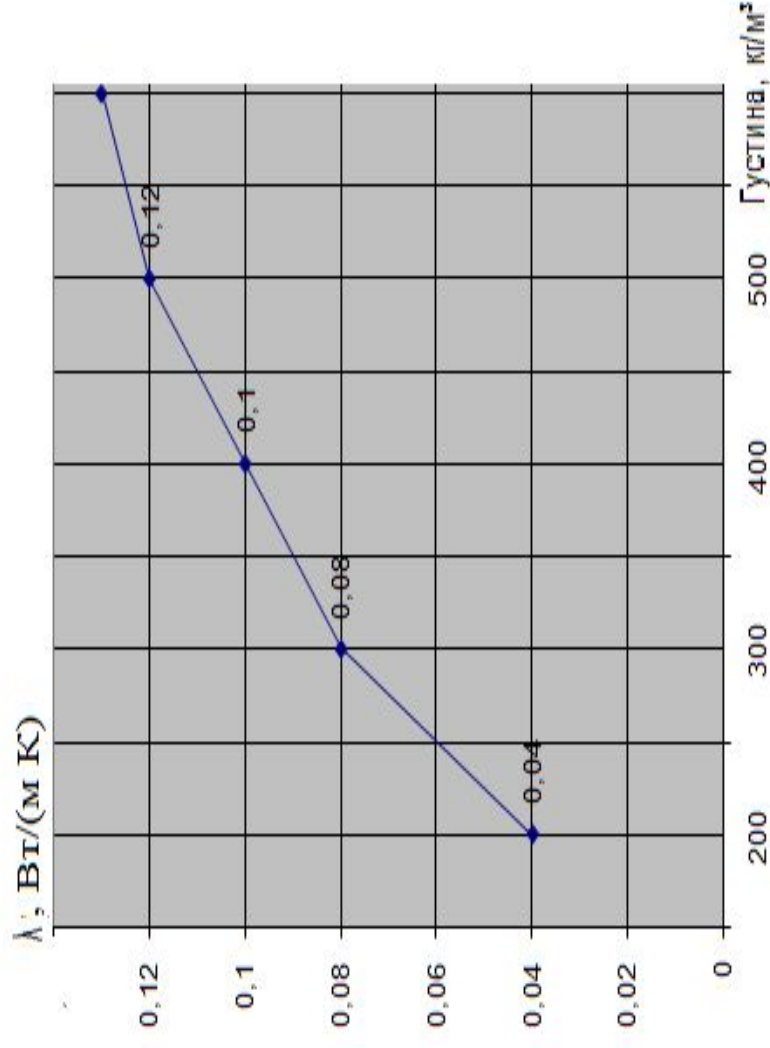
ПРОПОЗИЦІЇ

- "Smart-Eco-Fit"
- Утеплення: Двошарова система СФТК з мінеральною ватою (150-200 мм) + Smart-Fastening (терморозривні дюбелі) для ліквідації теплових мостів
- Встановлення інтелектуального ІТП з погодним регулюванням та балансуванням.
- Вентиляція: Децентралізовані рекуператори тепла (збереження до 80-90% тепла)

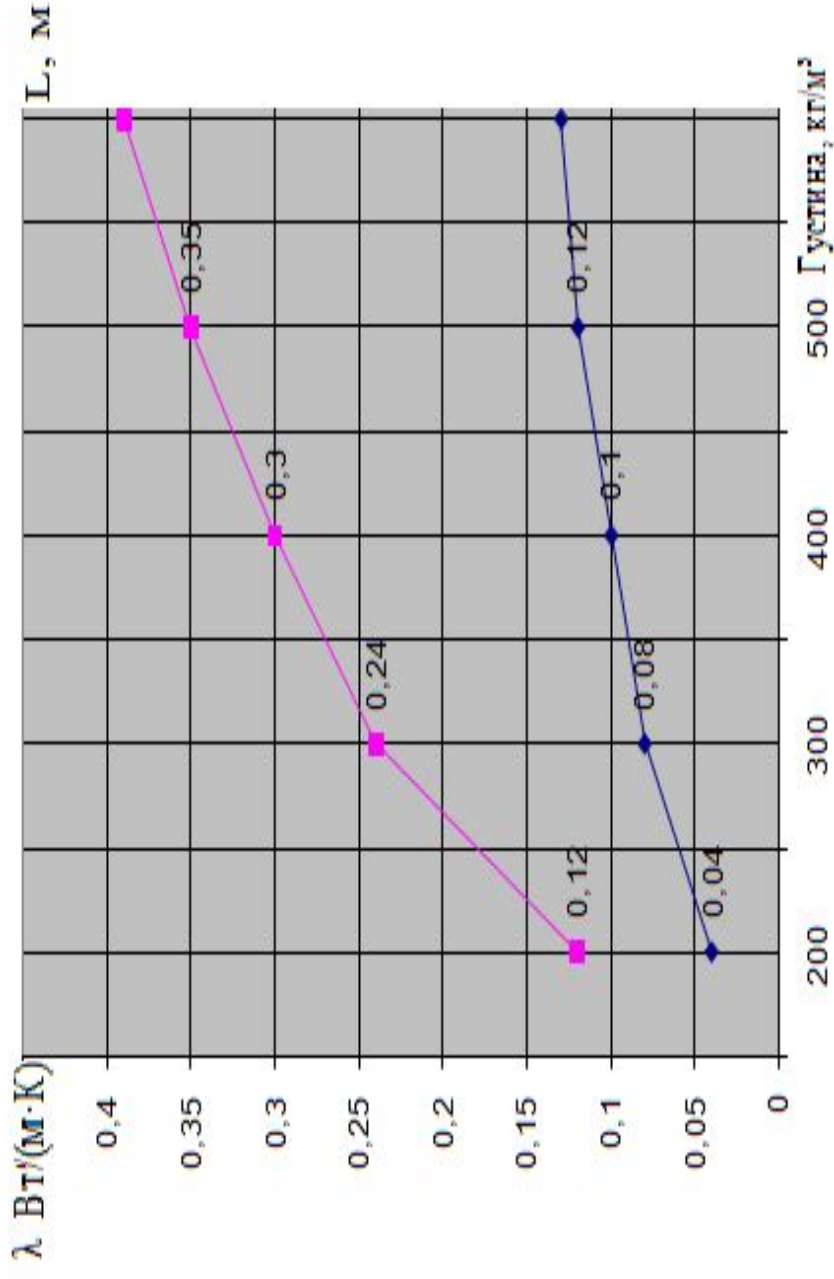
ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ

- Об'єкт: Багатоквартирний будинок серії 96 (Київ, 1980-ті роки)
- Клас ЕЕ: F (Критично низький).
- Споживання тепла: 200 кВт·год/м² на рік (у 1.8-2.2 рази вище за норматив)
- Проблеми: критичні теплові мости на стиках панелей, висока інфільтрація, застарілий елеваторний вузол.

Залежність коефіцієнту теплопровідності утеплювача від густини (марки) газобетону .



Залежність коефіцієнту теплопровідності і товщини утеплювача від густини (марки) газобетону



Економічна ефективність

Фінансовий показник	Характеристика	Обґрунтування
Річний економічний ефект	≈928 тис. грн	Пряма економія на комунальних платежах завдяки 60% скороченню споживання тепла.
Чиста теперішня вартість (NPV)	Негативне/близьке до нуля (NPV < 0 за 20 років)	Високі початкові капітальні витрати (CAPEX). Проект не окупається виключно за рахунок економії при поточній вартості енергії.
Дисконтований термін окупності (DPBP)	Прийнятний довгострокового інвестування.	Обґрунтування вимагає державної/муніципальної підтримки (субсидування CAPEX) або механізму енергосервісного договору (ЕСКО).
Нерівність	Досягнення максимального NPV порівняно з менш глибокими варіантами.	Комплексна модернізація найвигідніша у довгостроковій перспективі (20 років).
Підвищення ринкової вартість	Зростання	Непрямий економічний ефект (підвищення ліквідності нерухомості).

РЕЗУЛЬТАТИ МОДЕРНІЗАЦІЇ

Показник	До модернізації	Після модернізації	Ефект
Клас ЕЕ	F	B	Підвищення на 4 рівні
Питоме споживання тепла	200 кВт·год/м ² на рік	80 кВт·год/м ² на рік	Зниження на 60%
Скорочення викидів CO ₂	-	CO ₂ /рік	Значна екологічна вигода
Економічний ефект	-	928 тис. грн/рік (економія)	Позитивна NPV у довгостроковій перспективі

КОМЕРЦІАЛІЗАЦІЯ

- Інтелектуальне управління енергією
- Розробка та комерціалізація програмно-апаратного комплексу (ПАК)
- Проактивний для оптимізації роботи ІТП після термомодернізації
- Проблема: недосконалість існуючих реактивних ІТП, які втрачають 5-10% економії через "перетопи" та відсутність прогнозування
- *Бізнес-модель (джерела доходу):*
- Продаж апаратного модуля ЕРА.
- Абонентська плата (SaaS-модель) за хмарну платформу та оновлення ПАК.
- Послуги з енергоконсалтингу та калібрування ВЕМ-моделей

ФІНАНСОВА ОЦІНКА

- Швидка окупність старту
- Інвестиційна потреба: 1,500 тис. грн (R&D, сертифікація, пілотне впровадження)
- Стратегія фінансування: Грантові програми (Horizon Europe) та венчурний капітал.

ВИСНОВКИ

- 1. Доведено, що успіх термомодернізації залежить від інтеграції LCA-оптимізованих матеріалів (наприклад, мінеральна вата) та інтелектуального управління (ІАР)
- 2. Комплексний проєкт забезпечує підвищення класу EE з F до B та скорочення споживання тепла на 60%.
- 3. Стартап "Eco-Fit Analytics" пропонує унікальне, високомаржинальне рішення для додаткової економії, що має швидку окупність і може стати інструментом для масштабування EETM в Україні