

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет будівництва та транспорту
Кафедра Архітектури та інженерних вишукувань**

До захисту
Допускається
Завідувач кафедри
Архітектури та інженерних
вишукувань
_____ Бородай Д. С.

«___» _____ 2025р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

за другим рівнем вищої освіти

На тему: «Дослідження та впровадження енергоефективних рішень на прикладі багатоповерхового житлового будинку в м. Полтава»

Виконав (ла)

В. Є. Ткаченко

(підпис)

(Прізвище, ініціали)

Група

БУД 2401-2 м

(Науковий)
керівник

А. С. Бородай

(підпис)

(Прізвище, ініціали)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра: Архітектури та інженерних вишукувань
Спеціальність: 192 "Будівництво та цивільна інженерія"

ЗАВДАННЯ

НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Ткаченко Вячеслав Євгенович

Тема роботи: Дослідження та впровадження енергоефективних рішень на прикладі багатоповерхового житлового будинку в м. Полтава

Затверджено наказом по університету № 34/ОС від "07" 01 2025р.
Строк здачі студентом закінченої роботи: "10" 12 2025 р.

Вихідні дані до роботи:

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

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

Розділ 1. Загальна характеристика роботи, Розділ 2. Бібліографічний огляд досліджень, Розділ 3. Дослідження та впровадження енергоефективних рішень, 3.1 Визначення ефективності утеплення різними способами, 3.2 Особливості застосування різних систем утеплення та їх експлуатація, Розділ 4. Опис архітектурно-планувального рішення будівлі, 4.1 Ситуаційний план, 4.2 Об'ємно-планувальне рішення, 4.3 Архітектурно-конструктивне рішення, Список використаних джерел

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

16 слайдів мультимедійного матеріалу

Керівник :		А. С. Бородай
	(підпис)	(Прізвище, ініціали)
Консультант		А. С. Бородай
	(підпис)	(Прізвище, ініціали)
Завдання прийняв до виконання:		
Здобувач		В. Є. Ткаченко
	(підпис)	(Прізвище, ініціали)

Анотація

Ткаченко Вячеслав Євгенович «Дослідження та впровадження енергоефективних рішень на прикладі багатоповерхового житлового будинку в м. Полтава» – Кваліфікаційна робота магістра на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота магістра за спеціальністю 192 «Будівництво та цивільна інженерія». – Сумський національний аграрний університет, Суми, 2025.

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

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

Робота присвячена дослідженню ефективних систем теплоізоляції багатоповерхових житлових будинків та оцінці їх практичної застосовності. У сучасних умовах енергозбереження та підвищення комфорту мешканців утеплення будівель є ключовим елементом ефективного використання енергії. Особлива увага приділяється зовнішнім стінам, плоским дахам та внутрішнім підлогам квартир, оскільки ці елементи конструкції відповідають за найбільшу частку тепловтрат.

У дослідженні проаналізовано різні типи ізоляційних матеріалів, включаючи мінеральну вату, полістирол та поліуретан, з урахуванням їх теплових властивостей, щільності, вологостійкості, стійкості до пошкоджень гризунами та комахами, а також пожежної безпеки. Для кожного матеріалу визначено його ефективність в реальних умовах експлуатації в багатоповерхових будівлях та практичну застосовність у різних елементах конструкції.

Проведено експериментальні та розрахункові дослідження теплопровідності матеріалів, встановлено оптимальну товщину утеплювача для досягнення необхідного теплового опору, оцінено вплив вологи, коливань температури та механічних навантажень на довговічність утеплювальних матеріалів. Особлива увага приділяється сучасним технологіям нанесення, зокрема безшовній напілювальній поліуретановій ізоляції, яка забезпечує

рівномірне покриття без теплових мостів та виключає додаткові витрати на паро- та гідроізоляційні шари.

Ключові слова: пінополістирол, мінеральна вата, енергоефективність.

Список публікацій та/або виступів на конференціях студента:

1. Ткаченко В.Є. Дослідження та впровадження енергоефективних рішень на прикладі багатоповерхового житлового будинку в м. Полтава // Матеріали 87-ї Міжнародної наукової конференції студентів університету, 7–11 квіт. 2025 р. Харків, 2025.

2. Ткаченко В.Є. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ПОРІВНЯННЯ СУЧАСНИХ МЕТОДІВ УТЕПЛЕННЯ ЖИТЛОВИХ БУДИНКІВ // Матеріали ХІХ Міжнародної науково-практичної конференції, 26 листопада 2025 р. Харків, 2025. С.18.

В додатках наведено тези конференції, альбом слайдів мультимедійної презентації.

Структура роботи.

Робота складається з основного тексту на 48 сторінках, у тому числі 9 таблиць, 14 рисунків. Текст роботи містить загальну характеристику роботи, 4 розділи, висновки і рекомендації за результатами роботи, список з 22 використаних джерел. Графічна частина складається з 16 слайдів мультимедійної презентації.

Abstracts

Tkachenko Vyacheslav “Research and implementation of energy-efficient solutions using the example of a multi-storey residential building in Poltava” - Master's thesis in manuscript form.

Master's thesis in the specialty 192 “Construction and Civil Engineering”. – Sumy National Agrarian University, Sumy, 2025.

The thesis consists of a table of contents, a general description of the thesis and its qualification characteristics, a review of research on the chosen topic, sections of the main part, and conclusions based on the results of the MCR (in Ukrainian and English).

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

The thesis is devoted to the study of effective thermal insulation systems for multi-storey residential buildings and the assessment of their practical applicability. In today's environment of energy conservation and improving the comfort of residents, building insulation is a key element of energy efficiency. Particular attention is paid to exterior walls, flat roofs, and interior floors of apartments, as these structural elements are responsible for the largest share of heat loss.

The study analyzes various types of insulation materials, including mineral wool, polystyrene, and polyurethane, taking into account their thermal properties, density, moisture resistance, resistance to damage by rodents and insects, and fire safety. For each material, its effectiveness in real operating conditions in multi-story buildings and practical applicability in various structural elements were determined.

Experimental and computational studies of the thermal conductivity of materials were conducted, the optimal thickness of insulation to achieve the required thermal resistance was established, and the impact of moisture, temperature fluctuations, and mechanical loads on the durability of insulation materials was assessed. Particular attention is paid to modern application technologies, in particular seamless spray polyurethane insulation, which provides uniform coverage

without thermal bridges and eliminates additional costs for vapor and waterproofing layers.

Keywords: expanded polystyrene, mineral wool, energy efficiency.

List of publications and/or conference presentations by the student:

1. Tkachenko V. Research and implementation of energy-efficient solutions using the example of a multi-storey residential building in Poltava // Materials of the 87th International Scientific Conference of University Students, 7–11 April 2025. Kharkiv, 2025.

2. Tkachenko V. TECHNICAL AND ECONOMIC COMPARISON OF MODERN METHODS OF INSULATING RESIDENTIAL BUILDINGS // Proceedings of the XIX International Scientific and Practical Conference, November 26, 2025. Kharkiv, 2025. P. 18.

The appendices contain the conference abstracts and a slide album of the multimedia presentation.

Structure of the work.

The work consists of the main text on 48 pages, including 9 tables and 14 figures. The text of the work contains a general description of the work, 4 sections, conclusions and recommendations based on the results of the work, and a list of 22 sources used. The graphic part consists of 16 slides from a multimedia presentation.

ЗМІСТ

Розділ 1. Загальна характеристика роботи.....	9
Розділ 2. Бібліографічний огляд досліджень.....	12
Розділ 3. Дослідження та впровадження енергоефективних рішень.....	16
3.1 Визначення ефективності утеплення різними способами.....	16
3.2 Особливості застосування різних систем утеплення та їх експлуатація.....	22
Розділ 4. Опис архітектурно-планувального рішення будівлі.....	39
4.1 Ситуаційний план.....	39
4.2 Об'ємно-планувальне рішення.....	39
4.3 Архітектурно-конструктивне рішення.....	40
Список використаних джерел.....	47

РОЗДІЛ 1

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми: Питання енергоефективності багатоповерхових житлових будинків залишається дуже актуальним через постійне зростання енергоспоживання на опалення та охолодження, підвищення вартості енергоносіїв та зростаючі вимоги до екологічного будівництва. У більшості регіонів втрати тепла через зовнішні стіни, дахи та підлоги становлять до 70 % від загальних енерговтрат будівлі, що безпосередньо впливає на економічну ефективність експлуатації та рівень теплового комфорту мешканців. Тому розробка інтегрованої системи утеплення на основі сучасних високоефективних матеріалів є необхідним кроком для досягнення енергоефективності, довговічності та безпеки житлових будинків.

Мета і завдання дослідження: Основною метою даного дослідження є розробка та обґрунтування ефективної системи теплоізоляції багатоповерхових житлових будинків, яка забезпечує зменшення тепловтрат, дотримання норм пожежної безпеки та довговічність конструкцій. Для досягнення цієї мети були поставлені такі завдання: проаналізувати основні фактори, що впливають на ефективність теплоізоляції; підібрати матеріали з оптимальними фізичними та механічними характеристиками для стін, дахів та підлог; обґрунтувати товщину та конфігурацію ізоляційних шарів; оцінити відповідність запропонованого рішення нормативним вимогам до теплового опору; визначити переваги системи з точки зору технології будівництва та експлуатаційних характеристик.

Об'єкт дослідження: 5-ти поверховий житловий будинок в місті Полтава.

Предмет дослідження: Дослідження ефективного способу утеплення житлової будівлі.

Методи дослідження: Дослідження проводилося з використанням аналітичних, порівняльних та розрахункових методів. Аналітичні методи застосовувалися для вивчення наукової літератури, будівельних норм та технічної документації щодо теплоізоляційних матеріалів. Порівняльний аналіз

використовувався для оцінки показників ефективності мінеральної вати, поліуретанової піни та інших сучасних ізоляційних систем. Розрахункові методи включали визначення теплового опору огорожувальних конструкцій, оцінку тепловтрат через огорожувальні конструкції будівлі та перевірку відповідності сучасним стандартам енергоефективності.

Наукова та технічна новизна одержаних результатів: Новизна полягає у розробці інтегрованої системи утеплення для багатоповерхових житлових будинків, яка поєднує мінеральну вату для зовнішніх стін та нанесений розпилювачем поліуретановий пінопласт для плоских дахів і підлог. Ця система забезпечує тепловий опір стін $R \geq 5,0 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$ і дахів $R \geq 6,0 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$, усуває теплові мости та забезпечує одночасний захист від тепла, пари та вологи без додаткових мембран. Технічною перевагою є монолітна структура ізоляційного шару, яка збільшує довговічність на понад 30 %, зменшує витрату матеріалу до 40 % та прискорює монтаж.

Практичне значення одержаних результатів: Практичне значення результатів полягає у розробці готової до використання, технічно обґрунтованої системи утеплення для багатоповерхових житлових будинків. Вибрані матеріали та конфігурації зменшують тепловтрати, знижують енергоспоживання та покращують комфорт у приміщенні. Безшовна розпилювальна ізоляція для дахів і підлог усуває теплові мости та спрощує монтаж, а запропонована система стін підвищує довговічність і вологостійкість. Ці висновки можуть бути безпосередньо застосовані в проектуванні, будівництві та тепловій реконструкції для підвищення енергоефективності будівель та зниження експлуатаційних витрат.

Апробація та публікація результатів роботи: 1. Ткаченко В.Є. Дослідження та впровадження енергоефективних рішень на прикладі багатоповерхового житлового будинку в м. Полтава // Матеріали 87-ї Міжнародної наукової конференції студентів університету, 7–11 квіт. 2025 р. Харків, 2025.

2. Ткаченко В.Є.ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ПОРІВНЯННЯ СУЧАСНИХ МЕТОДІВ УТЕПЛЕННЯ ЖИТЛОВИХ БУДИНКІВ // Матеріали ХІХ Міжнародної науково- практичної конференції, 26 листопада 2025 р. Харків, 2025. С.18.

РОЗДІЛ 2

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ ОГЛЯД ДОСЛІДЖЕНЬ

У практиці теплової модернізації багатоповерхових житлових будівель найбільш раціональним конструктивним рішенням є застосування збірних систем зовнішнього утеплення, що поєднують високі теплотехнічні характеристики з надійним декоративним і захисним покриттям. До таких систем належать конструкції з тонкошаровими полімерно-мінеральними штукатурками, а також системи з товстошаровими мінеральними штукатурними покриттями. Ці варіанти вважаються технологічно доцільними завдяки простоті монтажу, адаптованості до різних типів фасадних поверхонь, високій довговічності та економічній ефективності, оскільки вони значно зменшують тепловтрати будівлі, вимагаючи при цьому відносно помірних матеріальних і трудових ресурсів.

Конструктивна схема системи базується на багатошаровій конфігурації, де кожен шар виконує певну функцію. Несуча частина стіни, побудована з цегли, бетонних блоків або монолітного залізобетону, забезпечує механічну міцність і опір основним навантаженням. Поверхня стіни готується шляхом нанесення вирівнюючого шару штукатурки товщиною від 5 до 20 мм, що усуває нерівності поверхні та створює рівномірну основу для наступних шарів. Клейовий шар, виготовлений з полімермодифікованих сухих сумішей, наноситься товщиною 5–10 мм і забезпечує надійне з'єднання ізоляційних плит з основою. В якості утеплювача використовуються плити з мінеральної вати щільністю 130–180 кг/м³ або плити з пінополістиролу щільністю 15–25 кг/м³ товщиною від 100 до 150 мм залежно від необхідного теплового опору огорожувальної конструкції[2].

Захисний шар утворюється з цементно-клейового складу, армованого лугостійкою скловолокнистою сіткою щільністю не менше 145 г/м². Це армування запобігає утворенню тріщин і підвищує механічну стійкість до ударних навантажень і термічних деформацій. Над захисним шаром наноситься фінішне покриття, яке може складатися з тонкошарової акрилової, силікатної або

мінеральної штукатурки з розміром зерна 1,5–3 мм, або з товстошарової мінеральної штукатурки з текстурними наповнювачами.

Механічне кріплення утеплювальних плит здійснюється за допомогою фасадних анкерів з розширювальними зонами, виготовлених з поліаміду або поліпропілену з металевими або пластиковими штифтами. В середньому на квадратний метр наноситься від 6 до 8 анкерів, а в районах з високим вітровим навантаженням ця кількість збільшується до 10–12 на квадратний метр. Монтажні роботи в багатоповерховому житловому будівництві вимагають використання фасадних риштувань або підвісних платформ, спеціалізованого обладнання для змішування клейових і штукатурних розчинів, а також інструментів для нанесення і вирівнювання поверхні. У сукупності ці конструктивні елементи утворюють ефективну систему утеплення, яка знижує енергоспоживання будівлі на 25–40 %.

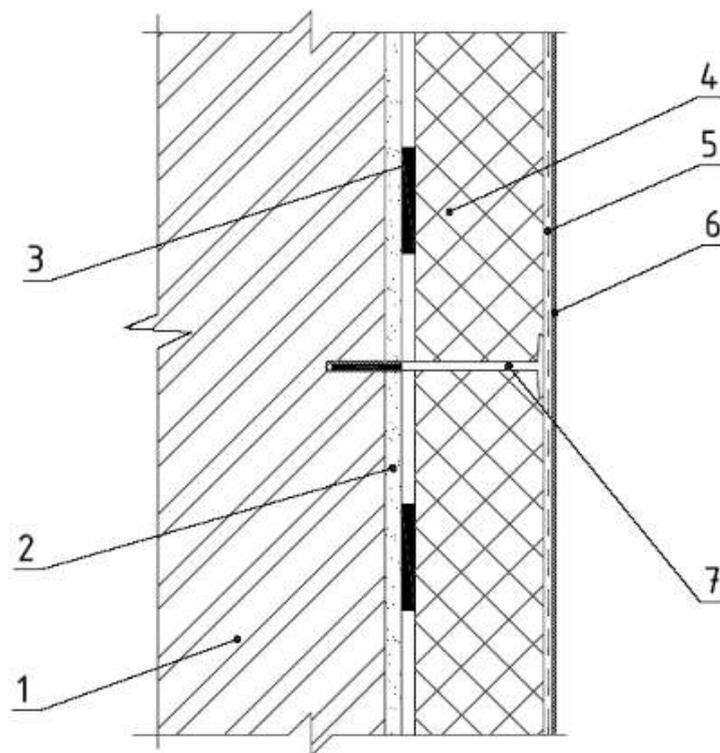


Рис. 2.1 Схема утеплення з використанням тонкошарової штукатурки для опорядження (1 – стіна; 2 – шар штукатурки; 3 – шар клею; 4 – шар утеплювача; 5 – захисний шар; 6 – зовнішнє опорядження; 7 – механічне кріплення)

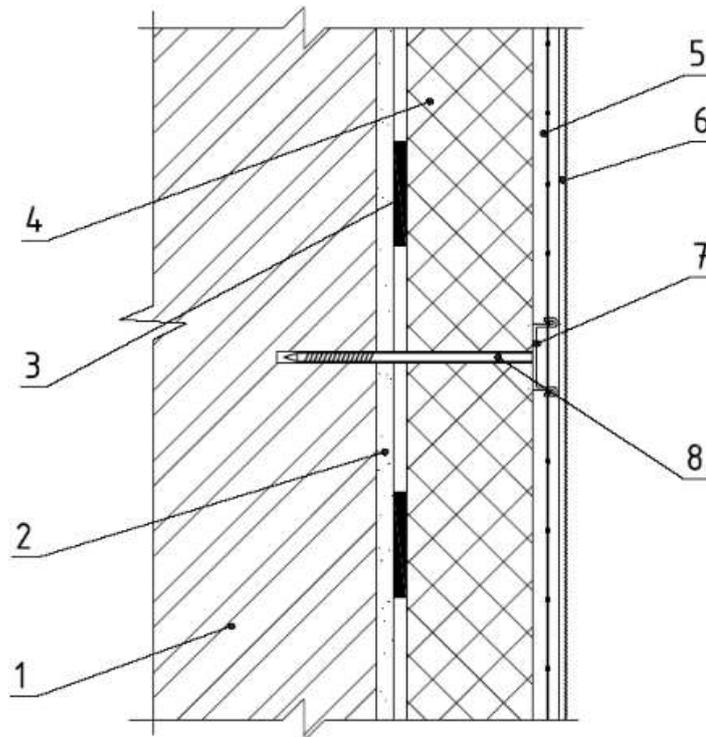


Рис. 2.2 Схема утеплення з використанням товстошарової штукатурки для опорядження (1 – стіна; 2 – шар штукатурки; 3 – шар клею; 4 – шар утеплювача; 5 – захисний шар; 6 – зовнішнє опорядження; 7 – фіксатор для сітки армування; 8 – механічне кріплення)

Таблиця 2.1 Необхідна кількість дюбелів для монтажу утеплювача в крайовій зоні будинку на 1 м²

Вітровий район	Висота будівлі, м			
	до 5 поверхів	5-9 поверхів	9-16 поверхів	16-25 поверхів
II	6	8	10	12
III	8	10	12	14

Таблиця 2.2 Необхідна кількість дюбелів для монтажу утеплювача в звичайній зоні будинку на 1 м²

Висота будівлі	Пінополістирол	Мінеральна вата
До 5 поверхів	4	6
5-16 поверхів	6	8
16-25 поверхів	8	10

Примітка. Дюбелі в звичайній зоні розміщуються по периметру плити і всередині, при цьому охоплюють перпендикулярно розміщені шви двох рядів плит.

Таблиця 2.3 Ширина крайової зони

Кількість поверхів	До 9	9-16	16-25
Ширина торця будинку, м	12	12-18	більше 18
Крайова зона, м	1,0	1,5	2,0

З точки зору конструкції, перевагу слід надавати збірним системам зовнішньої ізоляції, обробленим легкими тонкошаровими штукатурками або товстошаровими мінеральними штукатурками, оскільки ці рішення є найбільш технологічно придатними та економічно виправданими методами теплової модернізації будівель.

Тонкошарові штукатурні системи на основі полімермодифікованих мінеральних в'язучих речовин є особливо ефективними для забезпечення однорідної захисної та декоративної поверхні фасаду при збереженні відносно низької загальної ваги конструкції, що є надзвичайно важливим для багатоповерхових житлових будівель. На відміну від цього, товстошарові штукатурні системи, що наносяться з більшою масою матеріалу та текстурованим складом, підвищують механічну стійкість фасаду та забезпечують вищу довговічність за умов інтенсивних кліматичних та механічних навантажень[7].

Обидві системи, за умови правильного проектування та монтажу, значно покращують теплові характеристики огорожувальних конструкцій, зменшують експлуатаційне енергоспоживання на 40 % та подовжують термін експлуатації огорожувальних конструкцій будівлі, що робить їх пріоритетним вибором у сучасній енергоефективній будівельній практиці.

РОЗДІЛ 3

ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ВПРОВАДЖЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ РІШЕНЬ

3.1 Визначення ефективності утеплення різними способами

Визначення теплового опору зовнішніх стінових конструкцій в реальних умовах експлуатації було проведено експериментально з використанням методів вимірювання на місці на різних типах ізоляційних систем. Такий підхід дозволив оцінити не тільки теоретичні теплові характеристики матеріалів, але й фактичний опір теплопередачі стінових конструкцій під впливом кліматичних факторів, таких як коливання температури, вітрові навантаження та вологість навколишнього середовища.

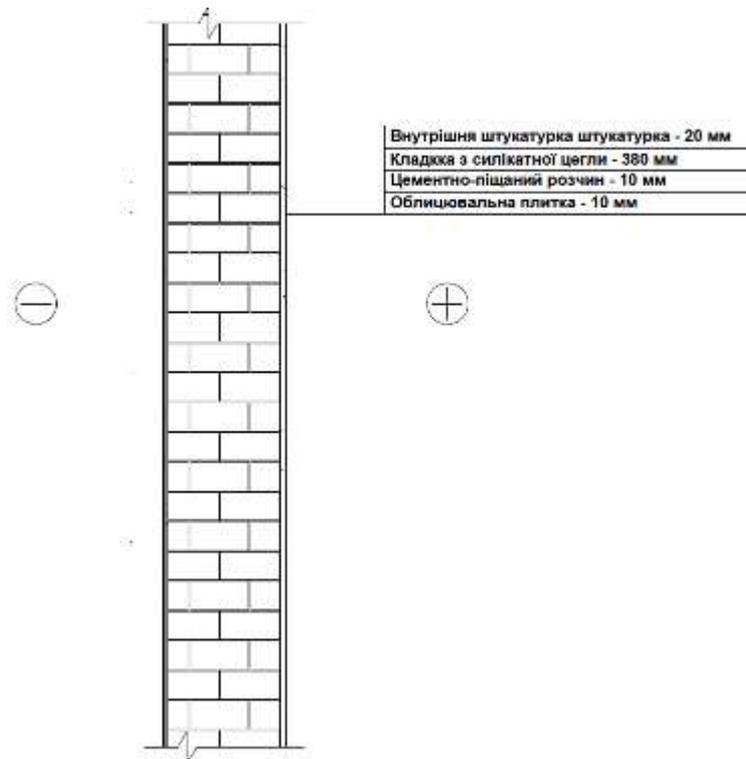


Рис. 3.1 Стіна до утеплення

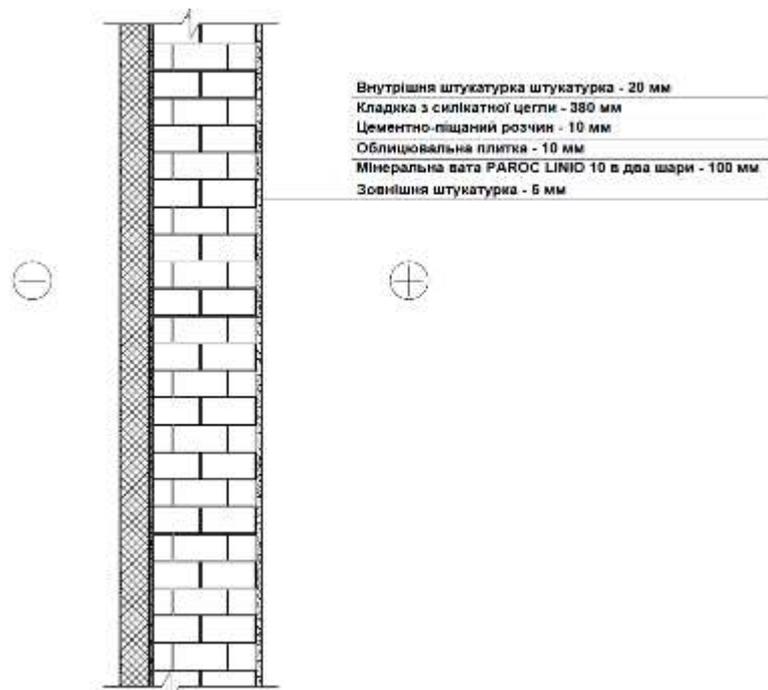


Рис. 3.2 Стіна утеплена мінераловатними плитами

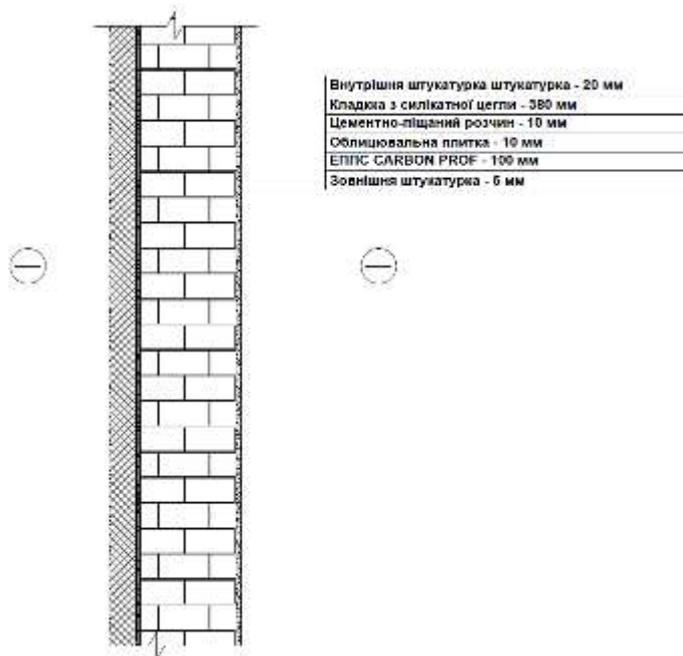


Рис. 3.3 Стіна утеплена пінополістиролом

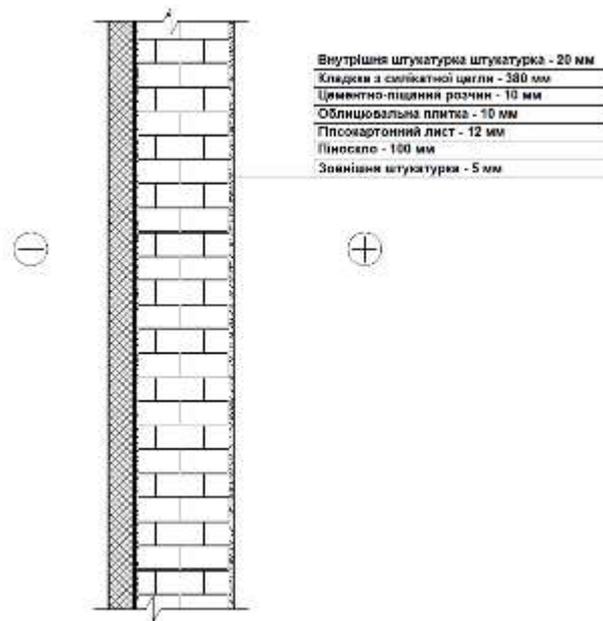


Рис. 3.4 Стіна утеплена піносклом

Визначення теплового опору зовнішніх стін, обладнаних різними системами утеплення, в реальних умовах експлуатації проводилося в найхолодніший період з січня по березень 2025 року. Вимірювання на місці проводилися за допомогою каліброваних теплових потокомірів і датчиків температури поверхні, встановлених як на внутрішній, так і на зовнішній поверхні стіни[7].



Рис. 3.5 Проведення дослідження при монтажу утеплювача з внутрішньої частини стіни

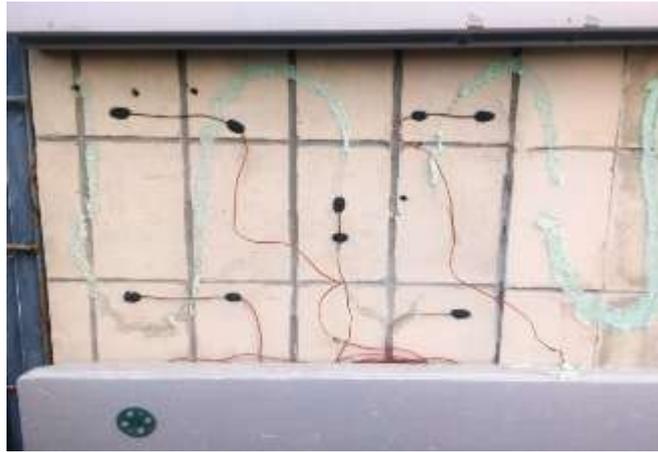


Рис. 3.6 Проведення дослідження при монтажу утеплювача з зовнішньої частини стіни

Під час процесу утеплення фасаду під кожним із трьох типів теплоізоляційних матеріалів, що досліджувалися, були вбудовані термопари для моніторингу розподілу температури по всій стіні в режимі реального часу. Датчики були встановлені на різній глибині в структурних шарах, включаючи внутрішню поверхню несучої стіни, межу між клеєм та ізоляцією, центральну частину ізоляційного шару та зовнішній захисний шар штукатурки. Таке розміщення точок вимірювання дозволило зареєструвати детальні температурні градієнти, що дало можливість більш повно зрозуміти теплову поведінку багат шарової фасадної системи в реальних умовах експлуатації.

Експериментальні значення температури безперервно реєструвалися за допомогою цифрової системи збору даних з інтервалом в 10 хвилин, що забезпечило достатню точність для теплового аналізу. Ці значення були потім порівняні з теоретичним розподілом температури, отриманим за допомогою двовимірного чисельного моделювання, проведеного в обчислювальному середовищі THERM 7.6. Програмне забезпечення використовувало моделювання методом скінченних елементів стаціонарного теплопровідності для розрахунку теплових потоків і температурних полів в гетерогенній структурі зовнішньої стіни.

Завдяки введенню однакових граничних умов стало можливим безпосередньо порівняти виміряні та розраховані температурні профілі. Такий підхід дозволив оцінити надійність чисельного моделювання в прогнозуванні реальних теплових характеристик систем утеплення фасадів[4].

Точність чисельних розрахунків сильно залежала від коефіцієнтів теплопровідності матеріалів, використаних у моделюванні. З цієї причини були використані точні табличні значення теплопровідності. Ці коефіцієнти, представлені в супровідній таблиці, становили ключові вхідні параметри для процесу чисельного моделювання. Їх точний підбір був необхідним для забезпечення достовірності результатів моделювання та для отримання правильних висновків щодо теплового опору та енергоефективності досліджуваних систем зовнішніх стін.

Таблиця 3.1 Показники теплопровідності досліджуваних матеріалів

Матеріали	Теплопровідність Вт/м·К
Внутрішня штукатурка	0,81
Кладка з силікатної цегли	0,87
Цементно-піщаний розчин	0,93
Плитка для оздоблення фасаду	1,1
Мінераловатний утеплювач	0,041
Утеплювач екструдований пінополістирол	0,039
Гіпсокартонний лист	0,21
Піноскло	0,054

У таблиці наведено експериментально виміряні та чисельно обчислені значення температури під шарами теплоізоляції. Експериментальні дані про температуру були записані 17 січня 2025 року, під час одного з найхолодніших періодів спостереження, коли середньодобова температура повітря на вулиці досягла $-9,3$ °С. Вимірювання проводилися за допомогою термопар, розміщених

на різних глибинах системи утеплення фасаду, щоб зафіксувати просторовий розподіл температури по багатошаровій конструкції стіни. Таким чином, зафіксовані експериментальні значення відображають реальну теплову поведінку утепленої стіни в стабільних зимових умовах, з істотними тепловими градієнтами між опалювальною частиною приміщення та зовнішнім повітрям.

Таблиця 3.2 Експериментальні та розрахункові значення температури під час дослідження

Система утеплення зовнішньої стіни	Експериментальні значення температур, °С	Розрахункові значення температур, °С
Мінеральна вата	13,8 (2,4)	14,3 (2,5)
Екструдований пінополістирол	14,1	14,6
Піноскло	12,7	13,2

Підсумки дослідження ефективності використання різних методів утеплення базувалися на тепловому опорі системи. Дані отримані в результаті дослідження описано в таблиці.

Таблиця 3.3 Тепловий опір системи

Зовнішня стіна	Тепловий опір системи	Опір теплопередачі системи утеплення
Система утеплення екструдованим пінополістиролом	3,05	3,21
Система утеплення мінеральною ватою	2,93	3,08
Система утеплення піносклом	2,4	2,55
До утеплення	0,48	0,64

Отримані результати вказують на недостатню товщину утеплювача, тому його товщину збільшено зі 100 мм до 150 мм. Експеримент було повторено та були отримані наступні результати.

Таблиця 3.4 Тепловий опір системи зі збільшеною товщиною утеплювача

Зовнішня стіна	Тепловий опір системи	Опір теплопередачі системи утеплення
Система утеплення екструдованим пінополістиролом	4,575	4,815
Система утеплення мінеральною ватою	4,395	4,62
Система утеплення піносклом	3,6	3,825

Результатом дослідження стало, що для утеплення житлового багатоповерхового будинку найкраще підходять системи на основі екструдованого пінополістиролу та мінеральної вати товщиною в 150 мм. Результати піноскла вказують на недостатню ефективність, тому від нього вирішено відмовитися в якості утеплювача[2].

3.2 Особливості застосування різних систем утеплення та їх експлуатація

Для визначення ефективного терміну служби утеплювальних матеріалів зразки були піддані кондиціонуванню до вологості $(w_0 + 4) \pm 2 \%$ і заповнені в поліетиленові пакети для збереження рівня вологості під час випробувань. Ці зразки піддавали циклічному впливу температури, імітуючи комбінований вплив морозу-відлиги та нагрівання, що виникають під час тривалої експлуатації. Кожен цикл складався з заморожування при $-22 \text{ }^\circ\text{C}$ протягом 3 годин, відлиги при $+20 \text{ }^\circ\text{C}$ протягом 4 годин та нагрівання при $+60 \text{ }^\circ\text{C}$ протягом 16 годин.

Після кожних 10 циклів зразки вилучалися для оцінки. Їх теплопровідність вимірювалася в стандартних лабораторних умовах при еталонній температурі $+25 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$, а зовнішній стан зразків ретельно фіксувався, відзначаючи будь-які тріщини, розшарування або пошкодження поверхні. Послідовність вимірювань дозволила побудувати криву, що показує залежність теплопровідності від кількості циклів, що дало змогу визначити лінійну фазу стабільної теплової поведінки та початок прискореного погіршення.

Ефективний термін служби ізоляційних матеріалів та комбінованих конструкційно-ізоляційних систем вважається прийнятним, якщо після 100 циклів матеріал зберігає свою теплову ефективність у встановлених межах. Для кореляції експериментальних циклів з реальними умовами експлуатації було застосовано коефіцієнт масштабування 5 для зразків, захищених фінішним шаром з коефіцієнтом дифузії вологи менше 1, що відображає зменшене навантаження навколишнього середовища на фасади будівель. Виміряна теплопровідність у початковому стані за стандартних умов послужила базовою лінією для цих розрахунків.

Ця методологія враховує довгострокову кліматичну деградацію матеріалів, яка з часом може поступово збільшувати теплопровідність, і забезпечує надійну оцінку експлуатаційних характеристик матеріалу. Використовуючи результати циклічних випробувань, можна визначити індекс довговічності та передбачити ефективний термін служби теплоізоляційних систем, гарантуючи, що вони залишатимуться функціональними протягом щонайменше 50 років за типових умов експлуатації будівлі.



Рис. 3.7 Кліматична установка для проведення дослідження

Розрахункові значення теплопровідності матеріалів були визначені на основі експериментальних вимірювань і скориговані з урахуванням реальних умов експлуатації. Зокрема, теплопровідність за розрахунковими умовами А була

отримана на основі експериментально виміряної теплопровідності при 10 °С для відповідного вмісту вологи, з урахуванням впливу кліматичного зносу з часом, а також впливу якості будівництва та монтажу. Для матеріалів з міцністю на стиск 0,035 МПа або більше коригування якості монтажу вважалося рівним одиниці, тоді як для матеріалів з міцністю на стиск нижче 0,035 МПа цей коефіцієнт був збільшений до 1,1, щоб відобразити більшу чутливість матеріалів з низькою міцністю до деформації під навантаженням.

Аналогічно, теплопровідність за розрахунковими умовами В визначалася з використанням експериментальної теплопровідності при 10 °С, що відповідає різному вмісту вологи, знову ж таки з урахуванням як довгострокового впливу клімату, так і якості будівельних робіт. В обох випадках статистична невизначеність вимірювань була врахована шляхом включення стандартного відхилення експериментальних даних. Ці коригування забезпечили реалістичне відображення проектних значень теплопровідності характеристик матеріалів в умовах експлуатації, включаючи можливе погіршення властивостей внаслідок впливу клімату та незначні недоліки монтажу[7].

Визначення теплопровідності за стандартних умов та оцінка ефективного терміну експлуатації виробів з мінеральної вати проводилися з використанням зразків у формі паралелепіпедів розмірами $(300 \pm 2) \times (300 \pm 2)$ мм та номінальною товщиною. Тип та основні характеристики випробувального обладнання та вимірювальних приладів, що використовувалися під час експериментів, були обрані з метою точного контролю параметрів навколишнього середовища, включаючи температуру та вологість, протягом усього процесу випробувань.



Рис. 3.8 Обладнання для визначення теплопровідності

Після піддавання зразків 100 циклам імітованих кліматичних впливів, що склалися з заморожування, розморожування та нагрівання, візуальний огляд показав, що зовнішній вигляд зразків мінеральної вати залишився незмінним. Зміни розмірів зразків були в межах допустимих меж, і не було виявлено жодних помітних змін кольору або структури матеріалу, що свідчить про високу стабільність при багаторазових термічних і вологісних навантаженнях. Було зафіксовано взаємозв'язок між теплопровідністю та кількістю кліматичних циклів, що дало чітке графічне уявлення про те, як змінюються теплові характеристики матеріалу під час тривалого циклічного впливу.

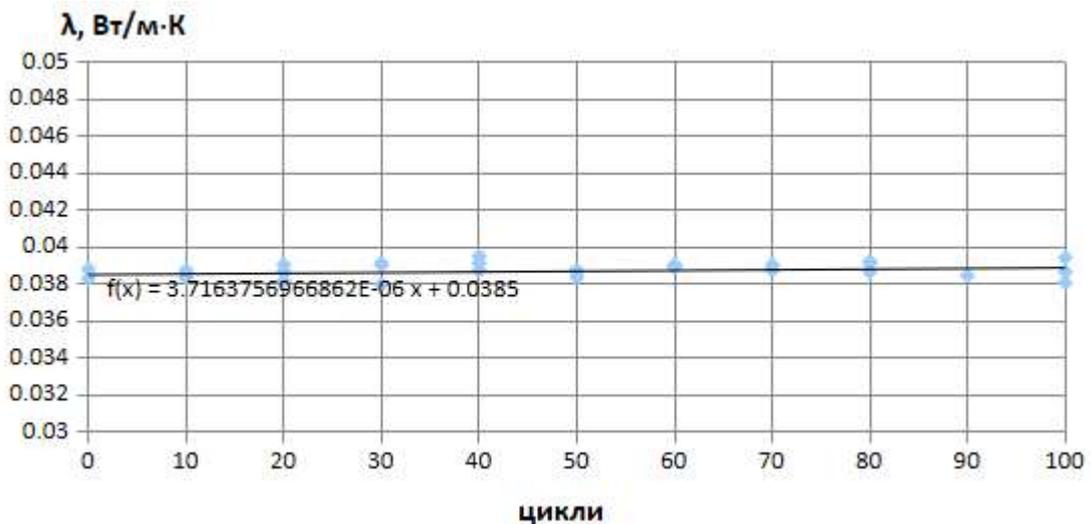


Рис. 3.9 Залежність теплопровідності та кількості циклів для мінераловатного утеплювача

Таблиця 3.5 Узагальнені характеристики

Марка	Середня густина, кг/м ³	Коефіцієнт урахування впливу кліматичної деструкції, k_x	Термін ефективної експлуатації
Мінеральна вата	142,3	1,05	не менше ніж 50 років
Екструдований пінополістирол	31	1,038	не менше ніж 50 років

Втрата тепла в будівельних конструкціях відбувається в першу чергу через теплопровідність матеріалів. Тому ефективні методи ізоляції передбачають додавання до існуючої стіни матеріалу з низькою теплопровідністю. Ідеальний ізоляційний матеріал — це матеріал, який не проводить тепло, мінімізуючи передачу теплової енергії між внутрішнім і зовнішнім середовищем. Найефективнішим теплоізолятором є вакуум, який запобігає контакту між атомами твердого матеріалу та атомами навколишнього повітря. Однак абсолютний вакуум неможливо підтримувати в нормальних умовах на Землі, його можна досягти лише в спеціальних наукових експериментах[2].

Основна мета практичних ізоляційних матеріалів — максимально наблизитися до теплових властивостей вакууму. Для цього виробники ізоляційних матеріалів розробляють матеріали, які утримують повітря або інші гази в невеликих закритих об'ємах. Прикладами можуть слугувати мікроскопічні повітряні комірки в спіненому полістиролі, щільно упаковані повітряні кишені в соломі або герметичний міжклітинний простір у вікнах з подвійним склінням. Затримуючи повітря та обмежуючи конвективний і кондуктивний теплообмін, ці матеріали значно зменшують швидкість втрати тепла, підвищуючи енергоефективність будівельної оболонки.

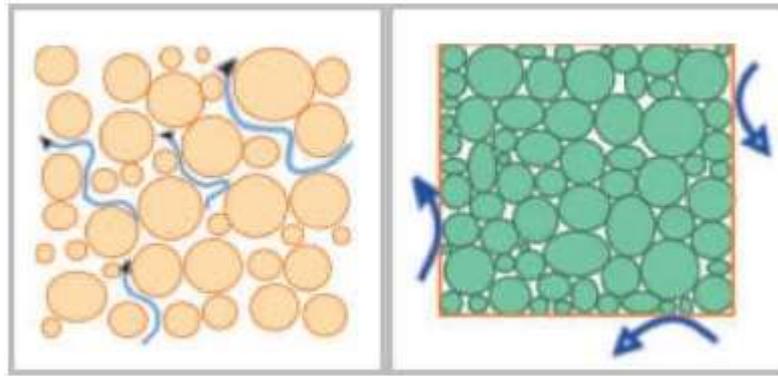


Рис. 3.10 Рух повітря через матеріал низької та високої щільності

Ефективний теплоізоляційний матеріал повинен характеризуватися низькою питомою вагою та структурою, що забезпечує мінімальну теплопровідність в умовах експлуатації. Ізоляційна здатність будь-якого матеріалу визначається насамперед його пористістю, щільністю та вологостійкістю, а також стабільністю цих параметрів у часі. На практиці оцінка ефективності теплоізоляції базується на понятті теплового опору, яке виражає здатність системи стін або фасаду обмежувати передачу тепла між внутрішнім і зовнішнім середовищами. Для сучасних багатоповерхових житлових будинків нормативні вимоги часто встановлюють мінімальні значення опору, які необхідно досягти для забезпечення відповідності стандартам енергоефективності та зменшення експлуатаційних витрат на опалення та охолодження.

Для ілюстрації цього принципу можна розглянути проектну вимогу щодо будівництва зовнішньої стіни з тепловим опором $R = 5 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$. Товщина ізоляційного шару, необхідна для досягнення цього значення, безпосередньо залежить від коефіцієнта теплопровідності обраного матеріалу. Наприклад, мінеральна вата із середньою теплопровідністю $0,040 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ потребуватиме шару товщиною 200 мм , тоді як спінений полістирол із теплопровідністю близько $0,035 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ досягне такого самого опору при товщині близько 175 мм . На відміну від цього, легкий бетон з теплопровідністю $0,25 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ вимагав би шару товщиною понад $1,2 \text{ м}$, що технічно непрактично для фасадних систем. Ці порівняння демонструють критичну важливість вибору матеріалів з найнижчою

можливою теплопровідністю для досягнення високого теплового опору при мінімальній товщині стіни, забезпечуючи тим самим як конструктивну здійсненність, так і економічну ефективність.

Встановлення таких ізоляційних систем у багатоповерховому житловому будівництві вимагає спеціалізованого обладнання та суворого дотримання технологічних протоколів. Під час робіт з утеплення фасаду поверхню несучої стіни спочатку необхідно підготувати шляхом очищення, вирівнювання та нанесення ґрунтовки для поліпшення адгезії. Ізоляційні панелі монтуються за допомогою комбінації клейових розчинів і механічних кріплень, таких як дюбелі з пластинчастими головками, які забезпечують надійне кріплення під вітровими навантаженнями[7].

Для багатоповерхових будівель незамінними є системи риштування, механічні підйомники та підйомні платформи, що забезпечують безпечні умови роботи на висоті. Стики між ізоляційними плитами необхідно ретельно ущільнити для усунення теплових мостів, а зовнішню поверхню армують шаром лугостійкої склопластикової сітки, вбудованої в полімермодифікований базовий шар. Остаточний фінішний шар, нанесений у вигляді штукатурних систем, не тільки забезпечує захист від атмосферних впливів, але й сприяє архітектурному вираженню фасаду.

Таблиця 3.6 Тепловий опір матеріалів

Матеріал	Товщина стіни, потрібна для R=5
Цемент	T=5,0м
Цегла	T=2,5м
Солома	T=0,5м
Натуральна Вовна	T=0,21м
Пінопласт	T=0,2м

Зовнішні та внутрішні стіни сучасних будівель є багатошаровими, причому кожен шар має різні теплопровідні та структурні властивості. Для визначення

загальної теплової ефективності таких стін розраховується та підсумовується тепловий опір кожного шару. Наприклад, цементна стіна товщиною 0,60 м забезпечує лише $R = 0,60 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$, що значно нижче нормативних вимог. Стіна з цегли товщиною 0,40 м у поєднанні з 0,10 м пінополістиролу забезпечує $R = 2,89 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$, тоді як більш складна конструкція з 0,40 м цегли, 0,24 м целюлози, 0,06 м деревинної волокна та 0,018 м гіпсокартону досягає $R = 7,02 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$, що відповідає стандартам низького енергоспоживання. Ці приклади показують, що тепловий опір сильно залежить від типу та товщини ізоляції.

Ізоляційні матеріали відрізняються за структурою та застосуванням. Волокниста ізоляція, виготовлена зі скла або мінеральних волокон, поставляється в рулонах або матах і використовується на горищах, дерев'яних стінах і під дерев'яними підлогами, але вимагає захисного обладнання під час монтажу. Сипуча ізоляція на основі целюлози, вермикуліту, корку або мінеральних волокон заливається або вдувається в порожнини і ефективна в нерівних просторах. Ізоляція з вогнестійкої целюлози або мінеральних волокон встановлюється за допомогою пневматичного обладнання і забезпечує рівномірне покриття порожнин. Жорсткі плити з полістиролу, поліуретану або поліізоціанурату мають дуже низьку теплопровідність ($0,022\text{--}0,028 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$) і застосовуються там, де необхідно досягти високого опору при обмеженій товщині.

При виборі ізоляції для багатоповерхових житлових будинків основними критеріями є ефективність, довговічність і стабільність. Ефективні матеріали повинні мати теплопровідність $\leq 0,175 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ при 25 °C і щільність $\leq 500 \text{ кг}/\text{м}^3$. Довговічність є надзвичайно важливою, оскільки ізоляція, вбудована в стіни, повинна служити протягом усього терміну експлуатації будівлі, як правило, понад 50 років, без заміни. Стабільність щодо усадки, осідання або деформації є надзвичайно важливою, особливо для сипучої або волокнистої ізоляції у вертикальних конструкціях.



Рис. 3.11 Процес просідання ізоляції з часом

Під час експлуатації багатоповерхових житлових будинків системи теплоізоляції піддаються впливу широкого спектру факторів, які можуть значно знизити їх ефективність і довговічність. Одним з найпоширеніших негативних впливів є пошкодження, спричинені гризунами та комахами. Найбільший ризик пошкодження спостерігається у легких і м'яких ізоляційних матеріалах, які гризуни часто використовують для риття нір і облаштування гнізд. Хоча більшість теплоізоляційних матеріалів не мають харчової цінності, спінений полістирол частково піддається механічному руйнуванню внаслідок гризіння. Сипуча ізоляція менш приваблива для гризунів, але наявність внутрішніх порожнин все одно може зробити її вразливою. Захист від такого біологічного пошкодження вимагає використання механічних бар'єрів, таких як дерев'яні панелі, цементно-вапняні штукатурки або армуючі сітки. Комахи, як правило, не впливають на мінеральні або синтетичні ізоляційні матеріали, але дерев'яні компоненти оболонки можуть бути пошкоджені термітами та деревоточцями, що вимагає застосування антисептичних засобів[4].

Вологість є ще одним критичним фактором, який негативно впливає на ізоляцію. Проникнення води в структуру матеріалу призводить до збільшення теплопровідності, зниження несучої здатності та розвитку біологічних пошкоджень, зокрема утворення цвілі та грибка. Натуральні ізоляційні матеріали, такі як солома або деревоволокнисті плити, особливо чутливі до вологи, якщо вони не пройшли спеціальну обробку. Основними джерелами вологи є атмосферні опади, дифузія водяної пари, капілярне підняття з землі та інфільтрація через тріщини та будівельні дефекти. Для запобігання надмірному накопиченню вологи застосовуються дві основні стратегії. Перша передбачає використання пористих, капілярно-активних матеріалів, здатних транспортувати вологу назовні, забезпечуючи таким чином природну вентиляцію. Друга стратегія полягає в повному блокуванні проникнення води шляхом нанесення гідроізоляційних мембран, пароізоляційних бар'єрів та спеціальних захисних покриттів.

Вогнестійкість також відіграє вирішальну роль у довгостроковій ефективності ізоляційних систем. Ізоляційні матеріали на основі полімерів, такі як спінений полістирол та поліуретан, характеризуються низькою вогнестійкістю та високою схильністю до займання, що значно обмежує їх застосування без додаткового вогнетривкого облицювання. Матеріали з вищою щільністю, такі як пресована солома або деревина, мають кращу стійкість, але все одно потребують обробки вогнезахисними речовинами та захисними шарами. У разі пожежі небезпека не обмежується горінням матеріалу, а поширюється на токсичність продуктів горіння. Дим, що утворюється під час горіння синтетичної ізоляції, може бути настільки ж небезпечним для здоров'я людини, як і саме полум'я. З цієї причини будівельні рішення повинні включати захисні шари штукатурки або інші негорючі покриття, що підвищують вогнестійкість системи.

Крім того, ізоляційні матеріали не повинні становити ризику для здоров'я будівельників або мешканців. Потенційні небезпеки включають мікроскопічні волокна, такі як азбест, виділення летких органічних сполук протягом терміну

експлуатації та наявність важких металів у деяких промислових ізоляційних матеріалах. Тому сучасні стандарти вимагають використання матеріалів, які є нетоксичними, неканцерогенними та екологічно безпечними, з суворим контролем дотримання цих вимог[2].

Успішна реалізація проектів теплової модернізації вимагає комплексного підходу до монтажу утеплювача. Необхідно визначити найбільш вразливі ділянки будівлі з найбільшими тепловтратами, підібрати відповідну систему зовнішнього або внутрішнього утеплення залежно від функціональних і конструктивних умов, виконати точні розрахунки теплового опору і необхідної товщини утеплювача, а також врахувати параметри вологості і вентиляції. Після цього вибирається утеплювач за технічними та екологічними характеристиками, розраховується необхідна кількість і визначається відповідна технологія монтажу із застосуванням спеціалізованого обладнання для різання, кріплення та захисту. Ефективність системи досягається тільки за умови правильного виконання робіт і постійного обслуговування, що включає періодичні огляди фасаду і своєчасне усунення будь-яких дефектів.

Зовнішні стіни та дахи є найважливішими елементами житлових будівель, оскільки вони одночасно виконують конструктивні функції та слугують основним бар'єром проти зовнішніх впливів навколишнього середовища. Впровадження сучасних систем теплоізоляції є необхідним не тільки для зменшення енергоспоживання та експлуатаційних витрат, але й для забезпечення довготривалої міцності та стабільності будівельних огорожувальних конструкцій. Використання зовнішньої ізоляції є особливо ефективним, оскільки воно усуває утворення поверхневої конденсації на внутрішніх стінах, підтримуючи безперервний тепловий бар'єр, що запобігає замерзанню, тим самим забезпечуючи стабільні мікрокліматичні умови всередині приміщення.

Теплові характеристики ізоляційних систем оцінюються за параметром теплового опору R , який безпосередньо залежить від коефіцієнта теплопровідності матеріалу λ та товщини нанесеного шару. Серед широко

використовуваних матеріалів високу ефективність демонструють спінений полістирол з $\lambda = 0,035\text{--}0,040$ Вт/м·К і мінеральна вата з $\lambda = 0,036\text{--}0,042$ Вт/м·К, тоді як поліуретанова піна має найнижче значення теплопровідності, $\lambda = 0,022$ Вт/м·К. Цей винятково низький коефіцієнт дозволяє зменшити товщину ізоляції на 40–50 % порівняно з традиційними системами, що робить його особливо придатним для висотних житлових будинків, де несуча здатність і товщина фасаду підлягають суворим обмеженням при проектуванні. Наприклад, для досягнення теплового опору $R = 5,0$ м²·К/Вт необхідна товщина мінеральної вати повинна становити 180–200 мм, тоді як поліуретанова піна досягає того самого значення при товщині лише 90–120 мм.

При виборі систем утеплення також необхідно враховувати паропроникність і водопоглинаючі властивості. Мінеральна вата з коефіцієнтом паропроникності $\mu = 1\text{--}2$ забезпечує достатню повітропроникність, але вимагає додаткових гідроізоляційних мембран для запобігання накопиченню вологи. Екструдований полістирол з $\mu = 30\text{--}70$ має низьку паропроникність і тому може служити допоміжним пароізоляційним шаром, хоча при неправильному проектуванні може збільшити ризик міжшарової конденсації. Поліуретанова піна майже непроникна для водяної пари, з $\mu > 80$, і тому одночасно виконує функції теплоізоляції, пароізоляції та гідроізоляції. Ця багатофункціональність зменшує кількість додаткових будівельних шарів, знижує витрати на робочу силу та підвищує ефективність монтажу.

Процес монтажу теплоізоляційних систем вимагає використання спеціалізованого обладнання для забезпечення безпеки та продуктивності. Монтаж зовнішніх ізоляційних плит, таких як мінеральна вата або пінополістирол, здійснюється за допомогою будівельних риштувань, підйомників або підвісних платформ, залежно від висоти будівлі. Для кріплення ізоляційних панелей до зовнішньої поверхні стіни використовуються клейові розчини та механічні кріплення[7]. Для систем з поліуретановою піною процес нанесення передбачає використання обладнання для розпилення під високим

тиском з двокомпонентним змішуванням, де компоненти поліолу та ізоціанату нагріваються та змішуються в контрольованих умовах, а потім наносяться безпосередньо на поверхню основи, утворюючи безшовний монолітний шар. Висока продуктивність розпилення, що досягає 300 м² за робочий день, дозволяє широко застосовувати його у великих проектах.

Особливу увагу слід приділяти теплоізоляції дахів, які піддаються більшим тепловим втратам через вплив зовнішніх кліматичних факторів. У похилих дахах мінеральна вата найчастіше наноситься між кроквами, а вентиляційні зазори підтримуються за допомогою розпірних елементів для запобігання конденсації вологи. У плоских дахах перевагу надають жорстким полістирольним плитам або розпилюваній поліуретановій піні, оскільки вони забезпечують високу міцність на стиск, необхідну для витримування механічних навантажень, таких як скупчення снігу або технічне обслуговування. Пінополіуретан, завдяки своїй щільності 35–60 кг/м³, дозволяє ходити безпосередньо по ізольованих поверхнях без механічних пошкоджень, що робить його придатним для експлуатації плоских дахів.

Тривалість експлуатації ізоляційних систем також є вирішальним параметром. Вироби з мінеральної вати, за умови правильного захисту від вологи, зберігають стабільні властивості протягом 25–30 років. Екструдований пінополістирол має подібний термін експлуатації, але вразливий до біологічних пошкоджень від гризунів. Пінополіуретан демонструє чудові довгострокові експлуатаційні характеристики, термін експлуатації якого перевищує 30 років за умови нанесення відповідних захисних покриттів від ультрафіолетового випромінювання. Інтеграція безшовних полімерних мембран, що наносяться розпиленням, з пінополіуретаном ще більше підвищує довговічність і забезпечує повну водонепроникність покрівельних конструкцій.

Окрім утеплення даху, одним з найважливіших компонентів системи теплової захисту будівлі є утеплення підлоги. Підлога є конструктивною основою внутрішніх приміщень і елементом, з яким мешканці найчастіше вступають у

прямий контакт. Холодна підлога не тільки знижує комфорт, але й значно сприяє загальним тепловим втратам. Неутеплені підлоги можуть становити до 20% загальних теплових втрат, що безпосередньо збільшує потреби в опаленні та експлуатаційні витрати[2].

Традиційні методи базуються на використанні готових волокнистих або жорстких ізоляційних плит. Хоча вони є досить ефективними, вони мають і свої недоліки: високі транспортні витрати через великий об'єм, тривалий час монтажу, щілини та стики, що утворюють теплові мости, а також схильність до поглинання вологи, що вимагає додаткових пароізоляційних бар'єрів і скорочує термін експлуатації.

Розпилювана полімерна ізоляція усуває ці недоліки, утворюючи безшовний тепловий бар'єр без стиків безпосередньо на основі. Під високим тиском рідкі компоненти розширюються в жорстку піну, яка прилипає до поверхні, забезпечуючи рівномірне покриття та усуваючи холодні мости та точки витоку повітря. Бригада з двох осіб може утеплити до 300 м² на день, а доставка рідини в компактних контейнерах значно зменшує логістичні витрати порівняно з громіздкими плитами. Два 200-літрові контейнери дають близько 10 м³ ізоляції, що свідчить про високу ефективність використання матеріалу.

Розпилений шар має теплопровідність 0,022–0,028 Вт/м·К, що забезпечує ефективний тепловий опір при товщині лише 50–100 мм. Це зменшує навантаження на конструкцію та зберігає внутрішній простір. Закрита комірчаста структура запобігає поглинанню води та дифузії пари, усуваючи необхідність у додаткових пароізоляційних бар'єрах та уникаючи ризиків конденсації.

З щільністю 30–70 кг/м³ ізоляція витримує фінішну стяжку, нанесену безпосередньо зверху, а її шорстка поверхня покращує адгезію. Монолітний матеріал стійкий до біологічного розкладу, не сприяє розвитку цвілі або грибків і залишається неушкодженим від пошкоджень гризунами. Термін служби перевищує 50 років, що забезпечує довгострокову ефективність без погіршення якості.

Альтернативним рішенням є ізоляція на основі целюлози, яка часто застосовується у вигляді сипучого або розпилюваного матеріалу. Ця технологія дозволяє рівномірно розподілити матеріал по складних геометричних формах, заповнюючи тріщини та порожнини без необхідності використання спеціальних кріпильних систем або опорних решіток. В результаті утворюється безшовний ізоляційний шар, який мінімізує ризики конденсації та усуває холодні мости. З діапазоном щільності 30–60 кг/м³ і теплопровідністю 0,032–0,040 Вт/м·К, ця ізоляція забезпечує ефективну енергоефективність, а також акустичне демпфування та регулювання вологості. Його адгезивні властивості забезпечують міцне зчеплення з деревом, бетоном, металом і цегляною кладкою, що робить його придатним як для нових будівель, так і для проектів реконструкції. Стандарти класифікації вогнестійкості відносять цей матеріал до категорій помірної горючості з низьким рівнем димоутворення, що дозволяє йому відповідати основним нормам пожежної безпеки для житлових будівель.

На основі проведеного дослідження для утеплення зовнішніх стін вирішено використовувати композитну систему на основі плит з мінеральної вати. Ізоляційний шар повинен складатися з плит мінеральної вати з розрахунковою теплопровідністю $\lambda = 0,036 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-1} \cdot \text{К}^{-1}$ та номінальною щільністю $\approx 135 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$, нанесених з товщиною 150 мм. Це рішення обрано для зовнішніх стін, оскільки мінеральна вата є негорючою, забезпечує високу вогнестійкість і звукоізоляцію, є паропроникною (зменшує ризик міжшарової конденсації) і має коефіцієнт R, що відповідає сучасним цілям енергоефективності[9].

Для плоского даху рекомендується система комірчастої поліуретанової піни. Специфікація передбачає закриту комірчасту структуру з теплопровідністю $\lambda = 0,022 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-1} \cdot \text{К}^{-1}$, нанесену суцільним шаром товщиною 120 мм для забезпечення $R \approx 5,45 \text{ м}^2 \cdot \text{К} \cdot \text{Вт}^{-1}$. Цей матеріал одночасно виконує функції теплоізоляції, пароізоляції та гідроізоляційної мембрани; він усуває теплові мости в місцях проникнення та складних геометричних формах і значно скорочує час монтажу на великих горизонтальних поверхнях. Вибір поліуретанової піни із

закритими порами є виправданим для дахів, оскільки вона забезпечує високий коефіцієнт R при мінімальній товщині, надійну гідроізоляцію без додаткових мембран та тривалий термін експлуатації при належному захисті[19].

Для підлог у квартирах також рекомендується використовувати нанесений розпилювачем поліуретановий пінопласт із закритими порами. Номінальна товщина шару 80 мм забезпечує $R \approx 3,64 \text{ м}^2 \cdot \text{К} \cdot \text{Вт}^{-1}$ для ізоляційного шару. У поєднанні з тепловим внеском бетонної стяжки та оздоблення це відповідає практичним цільовим значенням коефіцієнта теплопередачі підлоги квартири, мінімізуючи втрати корисного простору від підлоги до стелі[11].

Висновок

Проведені дослідження та аналіз показують, що теплові характеристики та загальна енергоефективність багатоповерхових житлових будинків можуть бути значно поліпшені за допомогою системного підходу до утеплення, що враховує специфічні вимоги до стін, дахів та підлог. Запропонована система поєднує зовнішні теплоізоляційні композитні системи з мінеральної вати для фасадів із закритопористою поліуретановою піною для плоских дахів і внутрішніх підлог, забезпечуючи комплексне рішення, яке поєднує пожежну безпеку, паропроникність, звукоізоляцію та довговічність із високою теплостійкістю.

Розрахунки підтверджують, що розрахована товщина ізоляційних шарів забезпечує відповідність сучасним стандартам теплового опору: $R \approx 5,11 \text{ м}^2 \cdot \text{К} \cdot \text{В}^{-1}$ для зовнішніх стін, $R \approx 5,45 \text{ м}^2 \cdot \text{К} \cdot \text{В}^{-1}$ для плоского даху та $R \approx 3,64 \text{ м}^2 \cdot \text{К} \cdot \text{В}^{-1}$ для ізольованих підлог. Ці значення гарантують істотне зменшення тепловтрат і дозволяють знизити енергоспоживання на опалення, сприяючи тим самим зниженню експлуатаційних витрат і поліпшенню комфорту в приміщенні.

Поєднання мінеральної вати та поліуретанової піни також дозволяє оптимізувати логістику будівництва: мінеральна вата забезпечує пожежобезпечну та паропроникну ізоляцію фасаду, а поліуретанова піна забезпечує безшовну, монолітну гідроізоляцію та компактну ізоляцію горизонтальних конструкцій. Система усуває теплові мости, мінімізує ризик

конденсації та подовжує термін експлуатації оболонки будівлі. Крім того, обрані матеріали демонструють довговічність, стійкість до впливу навколишнього середовища та сумісність зі стандартними будівельними процесами та обладнанням.

РОЗДІЛ 4

ОПИС АРХІТЕКТУРНО-ПЛАНУВАЛЬНОГО РІШЕННЯ БУДІВЛІ

4.1 Ситуаційний план

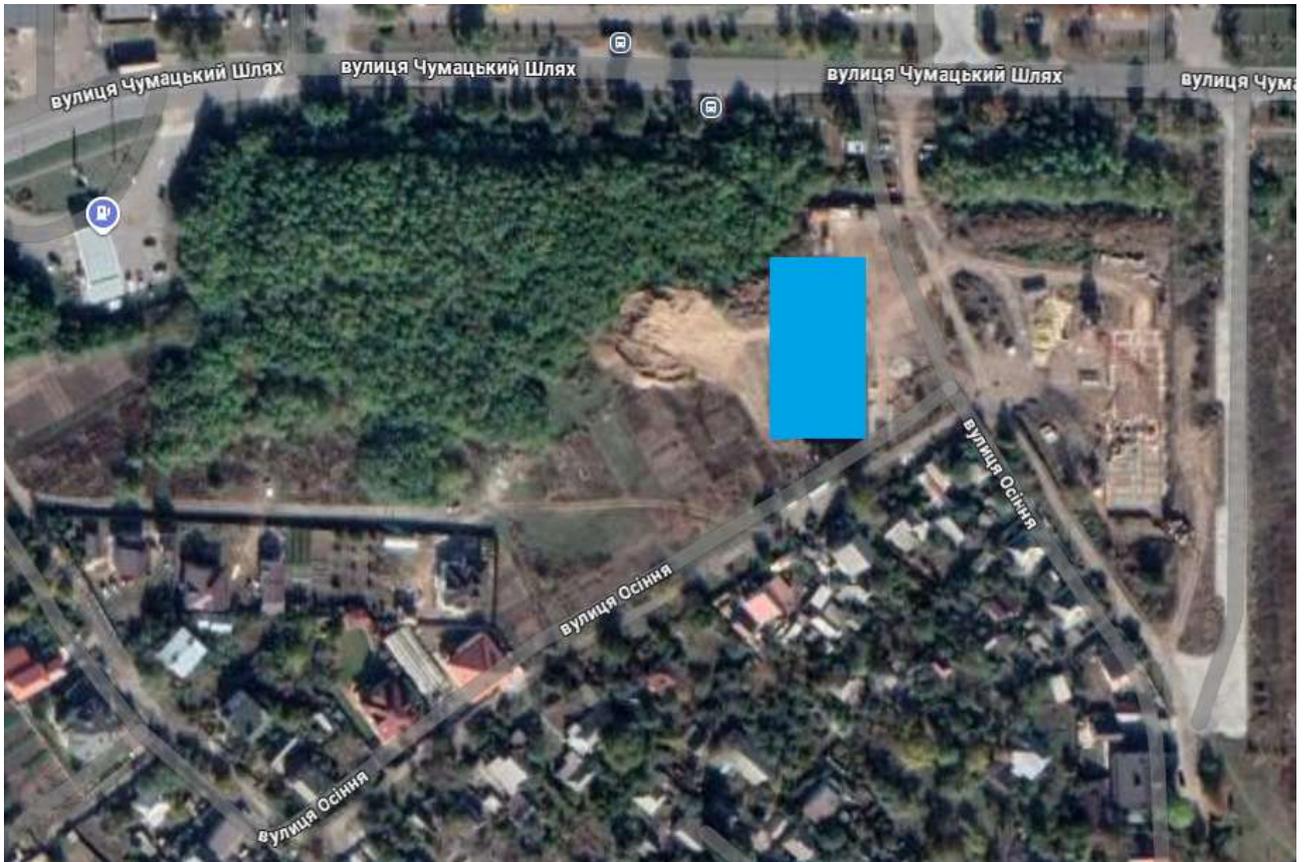


Рис. 4.1 Ситуаційний план

П'яти поверховий житловий будинок розташовано в місті Полтава на вулиці Осіння.

4.2 Об'ємно-планувальне рішення

Розглянута житлова будівля є п'ятиповерховою спорудою з програмою капітального ремонту, орієнтованою в першу чергу на теплову модернізацію її конструкцій. Загальна висота будівлі досягає 15,55 метрів, при цьому кожний типовий поверх має висоту 2,35 метра від підлоги до стелі. Крім того, будівля має підвальний поверх висотою 2,0 метра, в якому розміщені технічні та допоміжні приміщення. У плані будівля має прямокутну форму, загальні розміри в конструктивній сітці становлять 22 400 мм по осях 1–8 і 13 000 мм по осях А–Д. Будівля складається з єдиного під'їзду[3]. Вертикальна циркуляція

забезпечується через центрально розташовану сходову клітину, яка з'єднує всі поверхи, включаючи підвал.

Кожен типовий поверх вміщує чотири квартири, симетрично розташовані навколо сходів, що забезпечує раціональне використання внутрішнього простору та відповідність вимогам природного освітлення. Квартири обладнані лоджіями, інтегрованими в об'єм будівлі, що сприяє як архітектурній виразності фасаду, так і поліпшенню теплових характеристик зовнішніх стін.

У будівлі використовується безкаркасна система. Несучі цегляні стіни поєднуються з збірними перекриттями, утворюючи жорстку систему, здатну витримувати вертикальні та горизонтальні навантаження.

4.3 Архітектурно-конструктивне рішення

Фундамент

Фундамент будівлі виконаний у вигляді пальового фундаменту із залізобетонним ростверком. Палі – буронабивні, діаметром 300 мм, виготовлені із залізобетону класу С25/30 (характерна міцність циліндра 30 МПа). Ростверк та стіни підвалу шириною 700 мм, також виготовлені з бетону класу С25/30. Візуальний огляд не виявив тріщин, відшарувань або ознак корозії, що свідчить про збереження цілісності конструкції[1].

Для гідроізоляції зовнішні поверхні стін підвалу та ростверку будуть оброблені рідким склом (розчином силікату натрію, щільність 1,45 г/см³, рН 11,3), нанесеним у два шари методом розпилення, яке проникає в пористу структуру бетону на глибину 5–10 мм, утворюючи щільний кристалічний бар'єр. Зверху буде нанесено захисне покриття з бітумно-полімерної мастики товщиною 3 мм для підвищення еластичності та стійкості до ґрунтової вологи[15].

Теплоізоляція підземних споруд буде забезпечена екструдованими пінополістирольними плитами товщиною 100 мм, міцністю на стиск ≥ 300 кПа при 10% деформації та коефіцієнтом теплопровідності $\lambda = 0,032$ Вт/м·К. Плити будуть укладені суцільним шаром на гідроізольовані поверхні, закріплені

поліуретановим клеєм та механічними анкерами. Для захисту ізоляції від тиску ґрунту зовні будуть встановлені профільовані дренажні мембрани товщиною 0,8 мм і висотою конуса 8 мм.

Для будівництва необхідна компактна екскаваційна техніка, така як гусеничні міні-екскаватори з шириною ковша 600 мм для риття траншей, ручні сталеві щітки та водоструминні машини високого тиску для очищення бетонних поверхонь, розпилувальне обладнання з діаметром сопла 1,2–1,5 мм для нанесення рідкого скла, а також кельми та валики для нанесення мастики. Для монтажу теплоізоляції будуть використовуватися ріжучі інструменти та перфоратори з насадками для установки дюбелів.

Зовнішні, внутрішні стіни та перегородки

Несучі стіни будівлі побудовані з суцільної глиняної цегли загальною товщиною 510 мм. Використана цегла належить до класу міцності M150, з міцністю на стиск 15 МПа і морозостійкістю класу F50, що забезпечує достатню надійність конструкції. Для кладки використовується розчин класу M100 з міцністю на стиск 10 МПа, що забезпечує рівномірний розподіл навантаження і зчеплення між цеглинами. Внутрішні перегородки виконані з цегляної кладки товщиною 120 мм і 250 мм відповідно, з використанням розчину того ж класу[13].

Перемички над отворами – це збірні залізобетонні балки, виготовлені з бетону класу C25/30 із армуванням[5]. Під час огляду не виявлено тріщин, корозії або деформацій, що свідчить про збереження цілісності конструкції та придатність до тривалої експлуатації[8].

З метою теплової модернізації зовнішні стіни фасаду утеплені плитами з мінеральної вати товщиною 150 мм. Утеплювач виготовлений на основі базальтового волокна, щільністю 135 кг/м³, міцністю на стиск не менше 40 кПа, коефіцієнтом теплопровідності $\lambda = 0,036$ Вт/м·К. Мінеральна вата є негорючою, паропроникною та стійкою до біологічного розкладу, що забезпечує високий рівень пожежної безпеки та довгостроковий тепловий захист. Плити

встановлюються суцільним шаром із зміщеними стиками, кріпляться до поверхні стіни за допомогою клейового розчину та пластикових дюбелів зі сталевими штифтами[9].

Підготовка поверхні до утеплення включає очищення фасаду від пилу та вільних частинок за допомогою сталевих щіток та миття водою під високим тиском. Для монтажу необхідні риштування з несучою здатністю ≥ 200 кг/м², обладнання для змішування клею з низькошвидкісними електричними міксерами, кельми для нанесення клею та перфоратори для анкерних дюбелів. Плити з мінеральної вати монтуються, починаючи з базового профілю на рівні цоколя, рухаючись вгору ряд за рядом[22].

Перекриття та покрівля

Перекриття будівлі утворені збірними пустотними залізобетонними плитами товщиною 220 мм. Плити мають стандартну довжину 6,0 м, 4,6 м і 3,2 м, а їхня ширина варіюється від 1,0 до 1,5 м, залежно від прольоту та конструктивного рішення будівлі. Кожна плита виготовлена з бетону класу С30/37, армованого попередньо напруженими сталевими стрижнями, що забезпечує високу міцність на стиск і стійкість до тривалого прогину під навантаженням. Порожниста геометрія забезпечує зменшену власну вагу, поліпшену теплову інерцію та ефективне споживання матеріалу без шкоди для несучої здатності. Плити з'єднуються між собою за допомогою бетонного розчину класу С25/30 і армуються поперечними сталевими стрижнями в критичних точках, створюючи тим самим єдину діафрагму, яка рівномірно розподіляє навантаження на несучі стіни[6].

Покрівельна система є плоскою. Через виявлений знос і дефекти старої покрівлі, проект модернізації передбачає повне видалення всіх існуючих шарів до плити перекриття. Для демонтажу пошкоджених шарів використовується механічне обладнання для знесення, включаючи перфоратори, промислові ріжучі інструменти та пневматичні скребки, що дозволяє уникнути пошкодження

поверхні плити. Після процесу видалення основа очищається та перевіряється на наявність тріщин або порожнин, які закладаються ремонтним розчином[19].

Теплоізоляція даху виконується за допомогою нанесеного розпилювачем поліуретанової піни товщиною 120 мм. Піна має коефіцієнт теплопровідності $\lambda = 0,022$ Вт/м·К, міцність на стиск 150 кПа і водопоглинання менше 2% за об'ємом. Закрита комірчаста структура забезпечує як ізоляційні, так і гідроізоляційні властивості, створюючи безшовний монолітний шар без холодних мостів. Для нанесення необхідні спеціалізовані розпилювальні машини з насосами високого тиску, двокомпонентні змішувальні установки та захисне обладнання для працівників, включаючи респіратори та комбінезони, оскільки процес передбачає використання реактивних хімічних речовин[18].

Над шаром пінопласту встановлюється цементно-піщана вирівнювальна стяжка товщиною 40–60 мм, укладена з ухилом 2% для забезпечення належного відведення дощової води. Стяжка армована сталеву сіткою діаметром 4 мм з кроком 100×100 мм для запобігання утворенню тріщин внаслідок термічних навантажень. На завершення на підготовлену стяжку монтується система гідроізоляційної мембрани. Мембрана виготовлена з синтетичного полімеру (PVC-P) товщиною 1,5 мм, стійкого до ультрафіолетового випромінювання, проколів і хімічного впливу. Листи зварюються між собою за допомогою обладнання для зварювання гарячим повітрям, утворюючи суцільні шви з міцністю на розрив понад 500 Н/50 мм, що забезпечує абсолютну водонепроникність даху[14].

Зовнішнє та внутрішнє опорядження

Фасад житлового будинку пройшов комплексну теплову модернізацію в рамках капітального ремонту. Після установки шару мінеральної вати товщиною 150 мм зовнішні стіни були підготовлені до захисної та декоративної обробки. Спочатку був нанесений армований базовий шар, що складається з клейового розчину, в який була вбудована лугостійка скловолокниста сітка щільністю 160 г/м². Цей шар забезпечує рівномірний розподіл навантаження на ізоляційні

плити, запобігає утворенню поверхневих тріщин і створює надійну основу для подальших покриттів[16].

Після затвердіння армуючого шару було нанесено тонкий шар штукатурки, що складається з мінеральних в'язучих речовин і полімерних добавок для підвищення адгезії та еластичності. Поверхня штукатурки була вирівняна і пофарбована фасадним ґрунтом на основі акрилової дисперсії для зменшення поглинання і поліпшення зчеплення з фінішним шаром. Остаточний декоративний шар складається з фасадної фарби на основі акрило-силіконових кополімерів. Ця фарба забезпечує товщину 250 мкм і гарантує високу стійкість до ультрафіолетового випромінювання, опадів і перепадів температури.

Фарба є паропроникною, з коефіцієнтом опору дифузії водяної пари $\mu < 200$, що дозволяє залишковій волозі з кладки та ізоляційних шарів випаровуватися назовні без ризику конденсації. Водночас вона має гідрофобні властивості, відштовхуючи дощову воду та зменшуючи ризик забруднення поверхні. Для збереження стабільності кольору протягом терміну експлуатації були обрані пігменти з високою світлостійкістю. Крім того, фарба містить біоцидні добавки, що гальмують ріст цвілі, водоростей і моху[21].

Фарбування виконувалося за допомогою безповітряних розпилювальних машин з робочим тиском 200 бар, що забезпечило рівномірне покриття великих поверхонь і ефективне витрачання матеріалу. Для оздоблення віконних рам, деформаційних швів та елементів фасаду використовувалися пензлі та валики. Роботи виконувалися командою фахівців з оздоблення фасадів, монтажників риштування та інженерів з контролю якості. Роботи виконуються в контрольованих умовах при температурі навколишнього середовища не нижче +8 °C і відносній вологості нижче 80%, що забезпечило повну полімеризацію фарбової системи[17].

В результаті модернізації фасад отримав суцільне захисне і декоративне покриття, яке не тільки підвищує естетичну цінність будівлі, але і значно покращує довговічність оболонки. Разом з системою теплоізоляції фасад досягає

високого рівня енергоефективності, зменшуючи втрати тепла, покращуючи комфорт в приміщенні і продовжуючи термін служби оболонки будівлі щонайменше на 25 років.

Під час капітального ремонту всі застарілі шари підлоги та покрівельні матеріали в квартирах і загальних приміщеннях були повністю демонтовані. Демонтаж виконувався за допомогою механічних інструментів для знесення, пневматичних доліт і промислових вакуумних систем. Поверхні були ретельно очищені та перевірені, а виявлені незначні дефекти були усунені за допомогою полімермодифікованих ремонтних розчинів[12].

Для досягнення теплової модернізації безпосередньо на поверхню плити було нанесено суцільний шар нанесеної розпиленням поліуретанової піни товщиною 80 мм. Поверх ізоляційного шару було встановлено цементно-піщану вирівнювальну стяжку товщиною 90 мм. Вирівнювальна стяжка була армована сталеву сіткою діаметром 4 мм з кроком 100×100 мм, що забезпечило стійкість до розтріскування під дією експлуатаційних навантажень. Для досягнення рівномірного ухилу було використано лазерне вирівнювальне обладнання. Ця стяжка служить міцним основою для укладання нових підлогових матеріалів, таких як керамічна плитка, ламінат або лінолеум, залежно від функціональних вимог приміщень[16].

Було проведено косметичний ремонт у під'їзді для підвищення як довговічності, так і естетичної якості. Стіни були очищені, зашпакльовані та покриті двошаровою штукатуркою, після чого було нанесено фінішне покриття з акрилової фарби для внутрішніх робіт. Стелі були оброблені водорозчинною фарбою білого кольору[10]. Сходи та майданчики були відремонтовані шляхом шліфування бетонних поверхонь, нанесення зносостійкого епоксидного ґрунту та обробки захисним поліуретановим покриттям, призначеним для інтенсивного пішохідного руху[6].

Поручні та металеві балюстради були механічно очищені від корозії за допомогою абразивних кругів, потім покриті антикорозійною ґрунтовкою та

пофарбовані поліуретановою емаллю для забезпечення довготривалої стійкості до стирання та атмосферних впливів. Електрична проводка та освітлювальні прилади на сходовій клітці були замінені, встановлено енергоефективні світлодіодні світильники для забезпечення рівномірного освітлення не менше 100 люксів[20].

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення: ДБН В.2.6-98:2009 [Чинний від 2011-01-01]. – К. : Мінрегіонбуд України, 2011. – 45 с.
2. Беляєв С. В., Глечик А. О. Утеплення будівель. Аналіз чинних нормативних документів. – Київ : КНУТД, 2017.
3. Благоустрій територій (зі змінами): ДБН Б.2.2-5:2011 [Чинний від 2012-09-01]. – К. : Мінрегіонбуд України, 2019. – 44 с.
4. Бойко М. С. Особливості утеплення багатоквартирних житлових будівель під час експлуатації. – Вінниця : ВНТУ, 2020.
5. Вікна та двері: ДСТУ EN 14351-1:2020.
6. Довідково-інформаційний збірник ресурсів та одиничних розцінок на будівельно-монтажні роботи. – Суми : СНАУ, 2011.
7. Дудар І. Н., Риндюк С. В. Дослідження теплофізичних характеристик утеплення конструкцій будівель та споруд // Енергоефективність у будівництві та архітектурі. – Київ : КНУБА, 2013. – Вип. 4. – С. 100–103.
8. Кам'яні та армокам'яні конструкції: ДБН В.2.6-162:2010.
9. Конструкції зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією: ДБН В.2.6-33:2018.
10. Кошторисні норми України. Ресурсні елементні кошторисні норми на будівельні роботи. Оздоблювальні роботи.
11. Кошторисні норми України. Ресурсні елементні кошторисні норми на будівельні роботи. Підлоги.
12. Кошторисні норми України «Настанова з визначення вартості будівництва» [Чинний від 2021-11-09]. – К. : Мінрегіонбуд України, 2021. – 44–46 с.
13. Навантаження і впливи. Норми проектування: ДБН В.1.2-2:2016 [Чинний від 2017-10-01]. – К. : Мінрегіонбуд України, 2016. – 13–16 с.
14. Нормування праці та кошториси в будівництві. – Суми : Мрія-1, 2010. – 452 с.

15. Основи і фундаменти будівель та споруд. Основні положення: ДБН В.2.1-10:2018.

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

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

18. Пожежна безпека об'єктів будівництва: ДБН В.1.1-7-2016 [Чинний від 2017-06-01]. – К. : Держбуд України, 2017. – 84 с.

19. Покриття будівель і споруд: ДБН В.2.6-220:2017.

20. Природне і штучне освітлення: ДБН В.2.5-28:2018 [Чинний від 2019-02-28]. – К. : Мінрегіонбуд України, 2018. – 7 с.

21. Склад та зміст проектної документації на будівництво: ДБН А.2.2-3-2014 [Чинний від 2014-10-01]. – К. : Мінрегіонбуд України, 2014. – 10 с.

22. Теплова ізоляція будівель: ДБН В.2.6-31:2016 [Чинний від 2016-10-01]. – К. : Мінрегіонбуд України, 2017. – 15 с.