

Вінницький національний технічний університет  
(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії  
(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра будівництва, міського господарства та архітектури  
(повна назва кафедри (предметної, шкільної комісії))

## МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:

Підвищення енергоефективності житлових будівель шляхом застосування  
ресурсозберігаючих технологій

Виконав: студент 2-го курсу, групи 2Б-24м  
за спеціальністю 192 – «Будівництво та  
цивільна інженерія»

*MS* С. С. Майданюк  
(підпис, ініціали та прізвище)

*[Signature]*  
Керівник к.т.н., доц. І.М. Метъ  
(науковий ступінь, вчене звання,  
ініціали та прізвище)

«12» 12 2025 р.  
(підпис)

*[Signature]*  
Опонент к.т.н. доц. Слободян Н. М.  
(науковий ступінь, вчене звання, кафедра)  
(підпис, ініціали та прізвище)

«12» 12 2025 р.

Допущено до захисту  
Завідувач кафедри БМІА  
Будівництва, цивільної та екологічної інженерії  
к.т.н., доц. В.В. Швець  
(ініціали та прізвище)  
«12» 12 2025 р.  
*[Signature]*

Вінницький національний технічний університет  
(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет: будівництва, цивільної та екологічної інженерії

Кафедра: будівництва, міського господарства та архітектури

Рівень вищої освіти II-й (магістерський)

Освітньо-кваліфікаційний рівень магістр

Галузь знань 19 – Архітектура та будівництво

(шифр і назва)

Спеціальність 192 – Будівництво та цивільна інженерія

(шифр і назва)

Освітньо-професійна програма Промислове та цивільне будівництво

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Завідувач кафедри БМГА  
*Швець В.В.*  
25 Вересня 2025 року

ЗАВДАННЯ

НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРАНТА

Майданюка Сергія Станіславовича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Підвищення енергоефективності житлових будівель шляхом застосування ресурсозберігаючих технологій»

керівник роботи Меть І. М., к.т.н., доцент

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від "24" вересня 2025 року №313.

2. Строк подання здобувачем роботи 01.12.2025 р.

3. Вихідні дані до роботи Фрагмент ситуаційного плану, карта місцевості, нормативна література

4. Зміст текстової частини: Вступ (актуальність та новизна наукових досліджень, об'єкт, предмет, мета і задачі, практична значимість, методи досліджень, апробація)

розділ 1 Аналітичне обґрунтування інженерно-технічних рішень з проєктування огорожувальних конструкцій у процесі термомодернізації житлового фонду. Аналіз сучасного стану досліджуваної проблеми. Інженерні підходи до реалізації заходів з енергозбереження житлового фонду. Критерії та підходи до вибору теплоізоляційного матеріалу. Основні технології, які ефективно використовуються при термомодернізації. Системи вентиляваного фасаду для теплоізоляції стін. Матеріали та конструктивні рішення для влаштування систем вентиляваного фасаду. Технологічні особливості влаштування навісних вентиляваних фасадів. Висновок за розділом 1

розділ 2 Теплотехнічний аналіз зовнішніх стін, оснащених системами вентиляваних фасадів. Методичні підходи до теплотехнічного аналізу системи навісного вентиляваного фасаду із застосуванням комплексу ANSYS Workbench. Методичні підходи до розрахунку опору теплопередачі конструкцій зовнішніх стін будівель з фасадною теплоізоляцією та вентиляваним повітряним прошарком. Висновок за розділом 2

розділ 3 Дослідження впливу теплових мостів на систему вентиляваного фасаду та її оптимізація методом теплого аналізу. Дослідження впливу теплових мостів на ефективність роботи системи навісного вентиляваного фасаду. Аналіз впливу теплових мостів у системі навісного вентиляваного фасаду з урахуванням висоти кріпильних кронштейнів і застосування терморозривної подушки. Дослідження впливу теплових мостів на теплопровідність системи вентиляваного фасаду з урахуванням конструктивних особливостей кріпильних кронштейнів та їх матеріалів. Висновок за розділом 3

розділ 4 Технічна частина. Архітектурно-будівельні рішення. Результати обстеження. Розрахунки теплової опірності. Технологічні рішення. Галузь застосування. Загальні положення. Організація і технологія виконання робіт. Монтаж кронштейнів. Монтаж протипожежних екранів. Монтаж утеплювача. Вимоги до якості та приймання робіт. Висновок за розділом 4

5. Економічна частина. Висновки

5. Перелік ілюстративного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
1. Науково-дослідний розділ – 13 арк. (плакати, що ілюструють результати науково-дослідної роботи)
  2. Архітектурно-будівельні рішення – 4 арк. (візуалізація об'єкту дослідження, фасади, план першого поверху, план покрівлі, розріз 1-1, план фундаментів, план покриття, план перекриття)
  3. Розділ Технологічні рішення – 1 арк. (Технологічна карта на влаштування вентиляованого фасаду).

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Вступ, науковий розділ 1-3	Меть І. М. к.т.н., доцент кафедри БМГА		
Розділ 4. Технічна частина. Архітектурно-будівельні рішення	Меть І. М. к.т.н., доцент кафедри БМГА		
Розділ 4. Технічна частина. Технологічні рішення	Меть І. М. к.т.н., доцент кафедри БМГА		
Розділ 5. Економічна частина	Лялюк О. Г. к.т.н., доцент кафедри БМГА		

7. Дата видачі завдання 12.10.2025 р.

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітки
1	Складання вступу до МКР	13.10-17.10.25	
2	Науково-дослідна частина	15.09-17.10.25	
3	Архітектурно-будівельні рішення технічного об'єкту	20.10-29.10.25	
4	Організаційно-технологічні рішення	30.10-07.11.25	
5	Економічна частина	08.11-15.11.25	
6	Оформлення МКР	17.11-20.11.25	
7	Подання МКР на кафедру для перевірки	21.11-23.11.25	
8	Попередній захист	24.11-25.11.25	
9	Опонування	05.12-08.12.25	

Здобувач   
(підпис)

Керівник роботи   
(підпис)

Майданюк  
(прізвище)

Меть  
(прізвище)

## АНОТАЦІЯ

УДК 69.003:69.059:725.1

Майданюк С. С., Підвищення енергоефективності житлових будівель шляхом застосування ресурсозберігаючих технологій. Магістерська кваліфікаційна робота за спеціальністю 192 – «Будівництво та цивільна інженерія». Вінниця: ВНТУ, 2025. 110 с.

На укр. мові. Бібліогр.: 26 назв; рис.:23; табл. 12.

У роботі розглянуто комплекс проектних та технологічних рішень з проектування (реконструкції) будівлі з урахуванням сучасних вимог до функціональності, безпеки, енергоефективності та експлуатаційної надійності. Проведено аналіз містобудівних умов та обмежень, виконано обґрунтування об'ємно-планувальних і конструктивних рішень будівлі, а також розроблено заходи з благоустрою та вертикального планування території.

Особливу увагу приділено вибору конструкцій огорожувальних елементів, матеріалів та технологій виконання будівельно-монтажних робіт відповідно до чинних державних будівельних норм і стандартів. У роботі виконано теплотехнічні та техніко-економічні розрахунки, визначено основні показники енергоефективності будівлі та розглянуто заходи щодо зниження тепловтрат.

Розроблено організаційно-технологічні рішення з виконання основних будівельних процесів, визначено трудомісткість, тривалість робіт та потребу в матеріально-технічних ресурсах. Запропоновані проектні рішення забезпечують підвищення ефективності використання будівлі, поліпшення експлуатаційних характеристик та відповідність сучасним вимогам сталого розвитку у будівництві.

Ключові слова: будівля, реконструкція, проектні рішення, об'ємно-планувальна структура, конструктивні елементи, енергоефективність, огорожувальні конструкції, благоустрій території, організація будівництва, теплотехнічні розрахунки.

## ANNOTATION

Maydanyuk S. S., Increasing the energy efficiency of residential buildings through the use of resource-saving technologies. Master's qualification work in specialty 192 - "Construction and civil engineering. Vinnytsia: VNTU, 2025. 110 p.

In Ukrainian. Bibliography: 26 titles; Fig.: 23; Table. 12.

The work considers a set of design and technological solutions for the design (reconstruction) of a building taking into account modern requirements for functionality, safety, energy efficiency and operational reliability. An analysis of urban planning conditions and restrictions was carried out, a justification of the spatial planning and constructive solutions of the building was carried out, and measures for landscaping and vertical planning of the territory were developed.

Particular attention is paid to the choice of structures of enclosing elements, materials and technologies for performing construction and installation works in accordance with current state building norms and standards. The work includes thermal engineering and technical and economic calculations, determines the main indicators of the building's energy efficiency, and considers measures to reduce heat loss.

Organizational and technological solutions for the implementation of the main construction processes are developed, the labor intensity, duration of work, and the need for material and technical resources are determined. The proposed design solutions ensure increased efficiency in the use of the building, improved operational characteristics, and compliance with modern requirements for sustainable development in construction.

Keywords: building, reconstruction, design solutions, spatial planning structure, structural elements, energy efficiency, enclosing structures, landscaping, construction organization, thermal engineering calculations.

## ЗМІСТ

ВСТУП	4
РОЗДІЛ 1 АНАЛІТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ З ПРОЄКТУВАННЯ ОГОРОДЖУВАЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ У ПРОЦЕСІ ТЕРМОМОДЕРНІЗАЦІЇ ЖИТЛОВОГО ФОНДУ	8
1.1 Аналіз сучасного стану досліджуваної проблеми	8
1.2 Інженерні підходи до реалізації заходів з енергозбереження житлового фонду	14
1.2.1 Критерії та підходи до вибору теплоізоляційного матеріалу	14
1.2.2 Основні технології, які ефективно використовуються при термомодернізації	18
1.3 Системи вентиляваного фасаду для теплоізоляції стін	23
1.3.1 Матеріали та конструктивні рішення для влаштування систем вентильованих фасадів	26
1.3.2 Технологічні особливості влаштування навісних вентильованих фасадів	28
Висновок за розділом 1	30
РОЗДІЛ 2 ТЕПЛОТЕХНІЧНИЙ АНАЛІЗ ЗОВНІШНІХ СТІН, ОСНАЩЕНИХ СИСТЕМАМИ ВЕНТИЛЬОВАНИХ ФАСАДІВ	32
2.1 Методичні підходи до теплотехнічного аналізу системи навісного вентильованого фасаду із застосуванням комплексу ANSYS Workbench	32
2.2 Методичні підходи до розрахунку опору теплопередачі конструкцій зовнішніх стін будівель з фасадною теплоізоляцією та вентильованим повітряним прошарком	34
Висновок за розділом 2	39
РОЗДІЛ 3 ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТЕПЛОВИХ МОСТІВ НА СИСТЕМУ ВЕНТИЛЬОВАНОГО ФАСАДУ ТА ЇЇ ОПТИМІЗАЦІЯ МЕТОДОМ ТЕРМІЧНОГО АНАЛІЗУ	40

	3
3.1 Дослідження впливу теплових мостів на ефективність роботи системи навісного вентилязованого фасаду	40
3.2 Аналіз впливу теплових мостів у системі навісного вентилязованого фасаду з урахуванням висоти кріпильних кронштейнів і застосування терморозривної подушки	51
3.3 Дослідження впливу термомостів на теплопровідність системи вентилязованого фасаду з урахуванням конструктивних особливостей кріпильних кронштейнів та їх матеріалів	59
Висновок за розділом 3	67
РОЗДІЛ 4 ТЕХНІЧНА ЧАСТИНА	69
4.1 Архітектурно-будівельні рішення	69
4.1.1 Результати обстеження	69
4.1.2 Розрахунки теплової ізоляції	70
4.2 Технологічні рішення	73
4.2.1 Галузь застосування	73
4.2.2 Загальні положення	75
4.2.3 Організація і технологія виконання робіт	76
4.2.4 Монтаж кронштейнів	78
4.2.5 Монтаж протипожежних екранів	81
4.2.6 Монтаж утеплювача	82
4.2.7 Вимоги до якості та приймання робіт	85
Висновок за розділом 4	87
РОЗДІЛ 5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА	89
Висновок за розділом 5	104
ВИСНОВКИ	106
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	107
ДОДАТКИ	110
ДОДАТОК А – Протокол перевірки магістерської кваліфікаційної роботи	111
ДОДАТОК Б – Відомість графічної частини	112

## ВСТУП

Зовнішні огороджувальні конструкції будівель як невід'ємні конструктивні елементи об'єкта нерухомості, окрім забезпечення регламентованих проектними рішеннями фізико-механічних та експлуатаційних характеристик, повинні виконувати функції регулювання та підтримання нормативних параметрів мікроклімату внутрішніх приміщень. До таких параметрів належать температура повітря, відносна вологість, швидкість повітрообміну та тепловий комфорт, які безпосередньо впливають на санітарно-гігієнічні умови перебування людей і довговічність будівельних конструкцій.

Таким чином, зовнішні стіни, покриття та перекриття перших поверхів, окрім просторової функції розмежування внутрішнього та зовнішнього середовища, повинні забезпечувати нормативні показники теплопровідності, теплоємності, повітропроникності, паропроникності та вологостійкості. Сукупність цих характеристик визначає енергоефективність будівлі в цілому та рівень її експлуатаційних тепловтрат.

Фізичні механізми теплових і вологісних міграцій у товщі матеріалів огороджувальних конструкцій формуються внаслідок складної взаємодії внутрішніх і зовнішніх кліматичних факторів та залежать від структури, складу й властивостей застосованих матеріалів. У багатошарових конструкціях зовнішніх стін ці процеси реалізуються з урахуванням наявності матеріалів із підвищеною теплостійкістю, які здатні компенсувати добові та сезонні температурні коливання без втрати експлуатаційної придатності.

При цьому обов'язковою умовою є забезпечення нормативного вологісного режиму конструкції, що передбачає допустимі значення паро- та повітропроникності, відсутність конденсації водяної пари у небезпечних зонах та збереження стабільних теплоізоляційних властивостей протягом усього строку експлуатації. Недотримання цих вимог призводить до деградації матеріалів, зростання тепловтрат і зниження енергоефективності будівлі.

Практика проєктування та будівництва багатошарових теплоефективних

зовнішніх огорожувальних конструкцій із використанням сучасних конструктивно-технологічних рішень свідчить, що в умовах сьогодення зовнішні стіни та покриття розглядаються як складні поліфункціональні системи. Вони поєднують у своєму складі матеріали з високими фізико-механічними характеристиками (несучі та захисні шари) і матеріали з підвищеними теплоізоляційними властивостями.

Застосування окремих стінових матеріалів без урахування їх сумісної роботи в конструкції не забезпечує досягнення необхідних експлуатаційних параметрів. У зв'язку з цим виникає об'єктивна потреба у синтезі конструктивних і теплоізоляційних компонентів шляхом формування багатофункціональних конструктивно-теплоізоляційних композиційних систем, здатних відповідати сучасним нормативним вимогам.

У період імплементації вітчизняного нормативно-будівельного законодавства до нормативної бази країн Європейського Союзу в Україні відбувається постійна трансформація вимог до кількісних і якісних показників елементів огорожувальних конструкцій. Водночас так звана «стихійна термомодернізація» будівель здійснювалася переважно в міру появи на ринку нових теплоізоляційних матеріалів і систем без комплексного перегляду конструктивних рішень.

Зокрема, нормативне значення приведенного опору теплопередачі зовнішніх стін було збільшено з  $2,8 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$  відповідно до ДБН В.2.6-31:2006 до  $4,0 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$  згідно з ДБН В.2.6-31:2021. У результаті переважна більшість житлових будівель, зведених або термомодернізованих до 2021 року, не відповідає чинним вимогам та потребує додаткового підвищення теплотехнічних характеристик огорожувальних конструкцій.

За таких умов актуалізується завдання розробки раціональних науково-технічних рішень з термомодернізації захисно-оздоблювальних покриттів будівель з метою досягнення нормативних теплотехнічних параметрів. Особливої гостроти проблема зменшення експлуатаційних тепловтрат набуває для житлового фонду України в умовах воєнної агресії російської федерації,

наслідком якої є значні руйнування будівель та об'єктів енергетичної інфраструктури.

З огляду на підвищення вимог до теплового захисту будівель, застосування традиційних теплоізоляційних матеріалів (мінеральної вати, екструдованого пінополістиролу тощо) зі значною товщиною шару утеплення стає технічно та економічно малоефективним. Раціональні рішення можуть бути досягнуті шляхом впровадження нових технологій утеплення з оптимальним поєднанням конструктивних і теплофізичних характеристик.

Одним із перспективних напрямів підвищення енергоефективності експлуатованих будівель є улаштування додаткових теплозахисних оболонок із застосуванням систем вентиляованих фасадів. Такі системи забезпечують ефективний тепловий захист, регулювання вологісного режиму огорожувальних конструкцій, підвищення довговічності фасадних елементів і покращення архітектурної виразності будівель.

**Актуальність теми.** Оптимізація споживання енергетичних ресурсів за умови забезпечення нормативного рівня комфорту внутрішнього середовища передбачає реалізацію комплексу інженерно-технічних заходів з термомодернізації існуючих будівель. Такі заходи сприяють не лише скороченню витрат на енергоспоживання, але й підвищенню національної енергетичної безпеки, а також зменшенню негативного впливу на довкілля.

Актуальність обраного напрямку досліджень обумовлена необхідністю впровадження нових ефективних технологій термомодернізації житлових будівель, зовнішні огорожувальні конструкції яких не відповідають чинним теплотехнічним вимогам будівельних норм.

**Метою** магістерської кваліфікаційної роботи є розробка комплексу ефективних заходів у складі ресурсозберігаючої технології термомодернізації огорожувальних конструкцій існуючих житлових будівель.

**Для досягнення поставленої мети передбачено вирішення таких завдань:**

- аналіз сучасних інженерно-технічних рішень у проектуванні та

будівництві огорожувальних конструкцій;

- обґрунтування варіантів ефективних багатошарових огорожувальних конструкцій і дослідження їх теплофізичних властивостей;
- виконання теплотехнічних розрахунків та графічної інтерпретації процесів тепло- і вологообміну;
- розробка архітектурно-будівельних, конструктивних і технологічних рішень термомодернізації житлової будівлі;
- визначення технологічних параметрів будівельних процесів;
- оцінка економічної ефективності запропонованих рішень;

**Об'єкт дослідження** – багатошарові огорожувальні конструкції існуючих житлових будівель.

**Предмет дослідження** – технологічні рішення та теплотехнічні параметри зовнішніх огорожувальних конструкцій житлових будівель.

#### **Новизна роботи:**

- встановлено раціональний варіант технологічних рішень з покращення теплотехнічних характеристик експлуатованих будівель із використанням сучасних теплоізоляційних матеріалів;
- обґрунтовано та розроблено ефективний варіант термомодернізації зовнішніх огорожувальних конструкцій житлової будівлі.

#### **Публікації:**

За результатами магістерської кваліфікаційної роботи опубліковано 1 теза конференцій.

1. Майданюк С. С., Меть І. М. Підвищення енергоефективності житлових будівель шляхом застосування ресурсозберігаючих технологій. Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції Енергоефективність в галузях економіки України-2025, Вінниця, 19-21 листопада 2025 р. Електрон. текст. дані. 2025. Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/egeu/egeu2025/paper/viewFile/26453/2179>

# РОЗДІЛ 1

## АНАЛІТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ З ПРОЄКТУВАННЯ ОГОРОДЖУВАЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ У ПРОЦЕСІ ТЕРМОМОДЕРНІЗАЦІЇ ЖИТЛОВОГО ФОНДУ

### 1.1 Аналіз сучасного стану досліджуваної проблеми

Енергоефективність, або енергозбереження, на сучасному етапі розвитку суспільства розглядається як один із базових інструментів пом'якшення наслідків глобальної кліматичної кризи та забезпечення переходу до моделі сталого розвитку. Будівельний сектор відіграє ключову роль у формуванні енергетичного балансу держав, оскільки саме на експлуатацію будівель припадає значна частка кінцевого енергоспоживання.

Згідно з узагальненими статистичними даними Європейського Союзу, будівлі споживають близько 40 % загального обсягу виробленої енергії, при цьому до 60 % цього споживання використовується на потреби опалення житлових і громадських будівель. Така структура енергоспоживання свідчить про домінуючий вплив теплового захисту огороджувальних конструкцій на загальний рівень енергоефективності будівельного фонду. У зв'язку з цим підвищення енергоефективності будівель є одним із пріоритетних напрямів енергетичної політики як у країнах ЄС, так і в Україні.

Оптимізація споживання енергетичних ресурсів шляхом забезпечення нормативного теплового комфорту внутрішнього середовища, зниження експлуатаційних витрат та мінімізації негативного впливу на довкілля є ключовим завданням сучасного будівельного сектору. Реалізація принципів енергозбереження в будівлях передбачає скорочення обсягів споживання енергії без погіршення параметрів мікроклімату, зокрема температури повітря, вологості, якості вентиляції та теплового комфорту користувачів.

Комплексний підхід до підвищення енергоефективності будівель дозволяє не лише зменшити фінансові витрати власників та експлуатуючих

організацій, але й забезпечує низку супутніх позитивних ефектів. До них належать покращення якості повітря у приміщеннях, підвищення працездатності та рівня комфорту користувачів будівель, зменшення викидів парникових газів, а також зниження загальнонаціональної залежності від викопних енергетичних ресурсів. У довгостроковій перспективі це сприяє підвищенню енергетичної безпеки держави та виконанню міжнародних кліматичних зобов'язань [1].

У контексті України питання енергоефективності будівель набуває особливої актуальності з огляду на значну частку застарілого житлового фонду, високі питомі тепловтрати та сучасні виклики, пов'язані з енергетичною нестабільністю. Саме тому заходи з термомодернізації огороджувальних конструкцій, впровадження енергоефективних технологій і адаптація національних будівельних норм до європейських стандартів є необхідною умовою сталого розвитку будівельної галузі.

Хоча енергоефективні заходи не завжди забезпечують миттєву економічну вигоду, вони мають суттєвий довгостроковий ефект [1]:

- підвищують енергетичну безпеку країни;
- зменшують антропогенний вплив на навколишнє середовище;
- подовжують експлуатаційний період будівель;
- підвищують їх ринкову цінність.

Перед впровадженням заходів енергозбереження необхідно провести глибокий аналіз існуючих моделей енергоспоживання, технічного стану будівлі та діючих тарифів на комунальні послуги. Результати аналізу допомагають визначити найбільш ефективні напрямки модернізації та оптимізувати план реконструкції.

Усі заходи енергоефективності зазвичай групують за такими напрямками, що також наведені на рисунку 1.1 [1]:

- огороджувальні конструкції (стіни, покрівля, вікна, двері);
- інженерні системи (опалення, вентиляція, кондиціонування);
- електрообладнання та освітлення;
- автоматизовані системи управління енергією;

- поведінкові фактори користувачів;
- впровадження нових технологій та матеріалів.

За статистичними дослідженнями, до 50% теплових втрат припадає на стіни та покрівлю, що робить огорожувальні конструкції пріоритетним напрямом для модернізації. Використання якісних теплоізоляційних матеріалів у будівництві дозволяє скоротити втрати тепла на 50–70%, що суттєво зменшує витрати на опалення та підвищує енергоощадність будівлі в цілому.

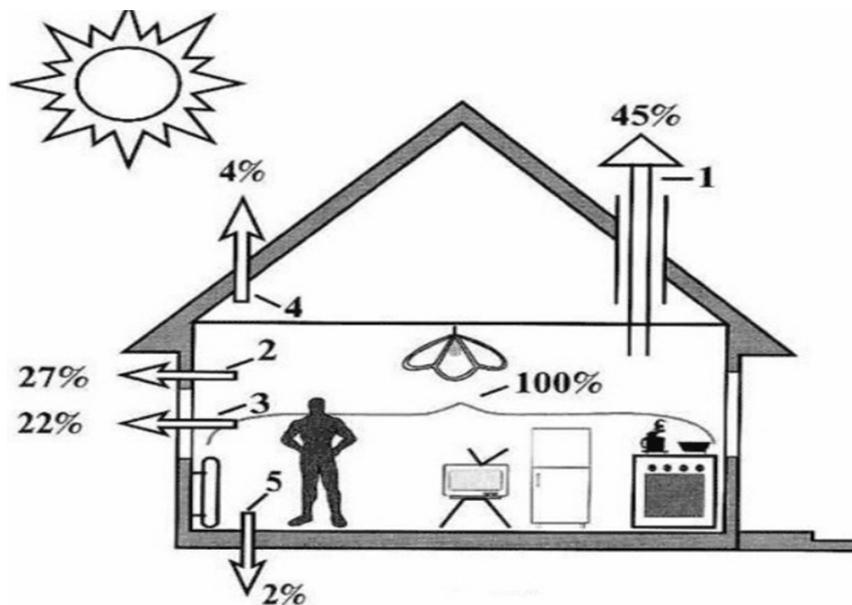


Рисунок 1.1 – Структура теплових втрат житлового будинку в опалювальний період: 1 – втрати теплової енергії, зумовлені повітрообміном; 2 – втрати тепла крізь стінові огорожувальні конструкції; 3 – втрати тепла через віконні конструкції; 4 – втрати тепла через дахові конструкції; 5 – втрати тепла через підлогові конструкції.

На сьогоднішній день найбільш енергоспоживаючим сектором в Україні залишається житлово-комунальне господарство, частка якого становить близько 60–70% у структурі загального енергоспоживання. Низький рівень енергоефективності будівельного фонду спричиняє значні непродуктивні втрати теплової енергії, що, у свою чергу, зумовлює необхідність посилення державної політики у сфері енергозбереження. Одним із ключових напрямів такої політики

є поступове підвищення нормативних вимог до термічного опору огорожувальних конструкцій будівель [1].

Трансформація нормативної бази відбувалась поетапно упродовж 2006–2022 років. Відправною точкою стало ухвалення у 2006 році першої редакції ДБН В.2.6-31:2006 «Теплова ізоляція будівель», якою вперше було чітко регламентовано мінімально допустимі значення опору теплопередачі для основних огорожувальних конструкцій. Подальший розвиток нормативів включав внесення змін із 1 липня 2013 року, що посилили вимоги до теплоізоляції будівель.

У 2016 році документ було оновлено й викладено у редакції ДБН В.2.6-31:2016 «Теплова ізоляція будівель», що відобразило нові підходи до визначення теплозахисних характеристик конструкцій відповідно до сучасних європейських стандартів. Наступним етапом стало формування чинної на сьогодні редакції – [2], яка не лише уточнила теплотехнічні вимоги, а й інтегрувала положення щодо оцінки енергоефективності відповідно до системи класів енергоспоживання.

Еволюція нормативних документів супроводжувалася систематичним підвищенням мінімально допустимого опору теплопередачі стін, покрівель, перекриттів і віконних конструкцій. У таблиці 1.1 наведено порівняльні значення мінімального опору теплопередачі огорожувальних конструкцій для I температурної зони відповідно до редакцій ДБН 2006, 2013, 2016 та 2021 років.

З метою забезпечення належного рівня енергоефективності будівель в Україні Кабінетом Міністрів України, Міністерством розвитку громад, територій та інфраструктури України (Мінрегіон), а також Міністерством енергетики України було розроблено та впроваджено комплекс нормативно-правових актів, що регламентують допустимі рівні теплових втрат будівель і споруд та встановлюють обов'язкові вимоги до їх енергетичних характеристик. Зазначені документи визначають мінімально допустимі значення приведенного опору теплопередачі огорожувальних конструкцій, вимоги до інженерних систем, а

також порядок оцінки енергоефективності будівель відповідно до сучасних європейських підходів.

Таблиця 1.1 – Зміни до мінімального опору теплопередачі визначені нормативними документами в різні періоди.

Вид огорожувальної конструкції	2006 р	2013 р	2016 р	2021 р
	Rqmin м2 ·К/Вт	Rqmin м2 ·К/Вт	Rqmin м2 ·К/Вт	Rqmin м2 ·К/Вт
Зовнішні стіни	2,8	3,3	3,3	4,0
Суміщені покриття, що межують із зовнішнім повітрям	3,3	4,95	6,0	7,0
Перекрыття, що межують із зовнішнім повітрям, та над неопалюваними підвалам	2,8	3,75	3,75	5,0
Світлопрозорі огорожувальні конструкції	0,6	0,75	0,75	0,9
Зовнішні двері	0,44	0,44	0,6	0,7

Паралельно з удосконаленням нормативної бази в Україні на постійній основі реалізуються всеукраїнські та міжнародні програми фінансової підтримки, грантові проєкти й конкурсні ініціативи, спрямовані на стимулювання заходів з підвищення енергоефективності. Такі програми охоплюють як модернізацію існуючого житлового фонду, так і зведення нових будівель із застосуванням сучасних теплоізоляційних матеріалів, енергоефективних конструктивних рішень та інноваційних інженерних технологій. Їх реалізація сприяє зменшенню енергоспоживання, скороченню експлуатаційних витрат та підвищенню загального рівня енергетичної безпеки держави [3].

Однією з наймасштабніших та найбільш результативних ініціатив у зазначеному напрямі стала програма «IQ energy», підготовлена Європейським банком реконструкції та розвитку (ЄБРР) у 2016 році та успішно реалізована в Україні до 2021 року включно. Дана програма була складовою глобального фонду фінансування розвитку «зеленої» економіки та мала на меті

стимулювання впровадження енергоефективних рішень у житловому секторі України відповідно до вимог і стандартів Європейського Союзу.

У межах програми «IQ energy» інвесторам і приватним домогосподарствам надавалася можливість фінансування високоефективних енергозберігаючих та енергогенеруючих технологій, енергетичні характеристики яких щонайменше на 20 % перевищували середньоринкові показники. До переліку таких рішень входили теплоізоляційні матеріали для огорожувальних конструкцій, енергоефективні віконні та дверні системи, сучасні системи опалення, вентиляції та відновлювані джерела енергії.

Крім фінансової підтримки, учасники програми отримували комплексний технічний супровід від сертифікованих фахівців у галузі енергоефективного будівництва. Це забезпечувало підвищення якості проєктних рішень, коректність вибору технологій та відповідність реалізованих заходів вимогам чинних нормативів. У підсумку реалізація програми «IQ energy» зробила суттєвий внесок у формування культури енергоефективного будівництва в Україні та створила передумови для подальшого впровадження аналогічних ініціатив на національному рівні.

Результати реалізації програми стали показовими для України [3]:

- досягнуто енергозбереження 72 596 МВт·год/рік,
- рівень викидів CO<sub>2</sub> знижено на 27 732 тонни/рік.

Поряд із цим, постійна трансформація державних будівельних норм, спрямована на гармонізацію з європейськими стандартами, призводить до того, що будівлі, модернізовані до 2022 року за кошти державних та міжнародних фондів, можуть уже не відповідати чинним вимогам до мінімального опору теплопередачі огорожувальних конструкцій.

Більшість таких проєктів виконували із застосуванням системи утеплення «мокрий фасад», яка передбачає приклеювання теплоізоляційної плити до стіни, її додаткове механічне кріплення дюбелями, нанесення шару армування з полімерною сіткою та декоративно-оздоблювальних матеріалів. Через

конструктивні особливості цієї системи збільшення товщини теплоізоляції без демонтажу існуючого шару практично неможливе.

На відміну від цього, використання систем утеплення за технологією вентильований фасад дозволяє оперативно та без значних демонтажних робіт змінювати товщину та тип теплоізоляційного шару, адаптуючи огорожувальні конструкції до нових нормативних вимог. Завдяки модульності та простоті модернізації вентильований фасад є рентабельнішим і менш ресурсозатратним рішенням, попри вищу початкову вартість монтажу.

## 1.2 Інженерні підходи до реалізації заходів з енергозбереження житлового фонду

### 1.2.1 Критерії та підходи до вибору теплоізоляційного матеріалу

Сучасний ринок теплоізоляційних матеріалів представлений широким спектром рішень, що різняться за походженням, конструктивними властивостями, ефективністю, довговічністю та вартістю. Значна частина цих матеріалів використовується у будівельній практиці вже багато років, а їх властивості добре вивчені та регламентовані відповідними стандартами. Однак правильний вибір теплоізоляції для огорожувальних конструкцій потребує врахування низки чинників: теплотехнічних характеристик матеріалу, його щільності, стійкості до вологи, пожежної безпеки, паропроникності, а також особливостей експлуатації будівлі [4].

В Україні найбільш поширеними є три основні групи теплоізоляційних матеріалів – пінополістирол, мінеральна вата та скловата. Вибір конкретного виду часто залежить від конструктивних особливостей будівлі, технології утеплення та вимог до пожежної безпеки.

За статистичними даними використання теплоізоляційних матеріалів у житловому фонді розподіляється таким чином:

- пінополістирольні плити застосовуються приблизно у 40% випадків;
- мінеральна вата – у близько 30%;

- скловата – орієнтовно 25%;
- інші види утеплювачів (піноскло, ековата, PIR/PUR-плити, целюлозні матеріали тощо) становлять близько 5% ринку.

Переваги та недоліки найпоширеніших типів теплоізоляції обумовлені їхніми фізико-технічними характеристиками. Основні властивості матеріалів для огорожувальних конструкцій наведено у таблиці 1.2 згідно з [2].

Таблиця 1.2 – Основні теплоізоляційні матеріали та їх характеристики

№	Назва матеріалу	Густина, кг/м <sup>3</sup>	Питома теплоємність, кДж/кг/К	Теплопровідність в сухому стані, Вт/(м К)	Розрахункова теплопровідність, Вт/(м К)	Коефіцієнт паропроникності, мг/(м год Па)
1	Мінеральна вата	30-225	0,84	0,039-0,040	0,046-0,054	0,30-0,55
2	Скловолокно	10-70	0,84	0,032-0,044	0,042-0,057	0,45-0,70
3	Екструдований пінополістирол	30-35	1,45	0,034-0,035	0,035-0,037	0,008
4	Пінополіуретан	40-80	1,47	0,029-0,041	0,040-0,050	0,05
5	Пінополістирол	40-100	1,68	0,038-0,047	0,041-0,064	0,23
6	Пінополіетилен	30-50	1,34	0,038-0,043	0,042-0,047	0,02
7	Перліт	250-450	0,84	0,071-0,110	0,083-0,202	0,1-0,20
8	Піноскло	120	0,84	0,045	0,053-0,054	0,002
9	Арболіт	300-800	2,3	0,07-0,16	0,11-0,3	0,11-0,3
10	Деревоволокнисті та деревостружкові плити	200-1000	2,3	0,06-0,15	0,07-0,29	0,12-0,324

За останні роки український будівельний ринок поповнився низкою нових теплоізоляційних матеріалів, що стало важливим проривом у сфері енергозбереження. Розвиток сучасних технологій дозволив створювати утеплювачі з покращеними теплотехнічними характеристиками, високою екологічною безпекою та більшою різноманітністю конструктивних рішень. Завдяки цьому стало можливим зменшувати товщину огорожувальних конструкцій, знижувати масу будівель, оптимізувати витрати матеріалів, а також економити паливно-енергетичні ресурси, одночасно забезпечуючи комфортний мікроклімат у приміщеннях.

Нижче розглянуто ключові інноваційні матеріали, що набувають популярності в Україні.

Пластмігран – один із найновіших утеплювачів, створених завдяки технологіям ультратонких волокон. Матеріал складається з перфорованого металевого модуля, заповненого сумішшю мінеральної вати та пилу полістиролу. Після заповнення модуль піддається продуванню гарячою парою під тиском, що забезпечує рівномірну структуру та високу стабільність.

Переваги матеріалу:

- не втрачає теплозахисних властивостей під впливом зовнішніх факторів, на відміну від традиційної мінеральної вати;
- перевершує пінополістирол за теплоізоляційними характеристиками;
- швидкий і простий монтаж модулів.

Основним недоліком є складність технології виробництва та потреба в дорогому обладнанні, тому поширення матеріалу поки обмежене.

Піноскло – інноваційний неорганічний матеріал, отриманий шляхом спінювання та термообробки спеціальних видів скла. Його мікропориста структура забезпечує низьку теплопровідність на рівні 0,08–0,1 Вт/(м·К) та високі звукоізоляційні властивості (поглинання шуму до 56 дБ).

Переваги піноскла [4]:

- висока щільність (до 600 кг/м<sup>3</sup>) та відсутність усадки;
- стійкість до хімічно активних речовин, грибків та бактерій;
- простий монтаж та довговічність.

Завдяки цим властивостям піноскло активно використовують як утеплювач у фасадних, покрівельних, підземних конструкціях та в умовах агресивного середовища.

Вакуумно-ізоляційні панелі (VIP) – це матеріали нового покоління, які забезпечують надзвичайно низьку теплопровідність і в 10 разів перевершують традиційні утеплювачі за ефективністю при тій самій товщині.

VIP складаються з мікропористого кремнеземного ядра, укладеного в багат шарову газонепроникну плівку, що перешкоджає потраплянню повітря та вологи.

Переваги матеріалу:

- мінімальна товщина при максимальних показниках теплоізоляції;
- негорючість серцевини;
- універсальність у застосуванні – від фасадних систем до холодильного обладнання.

VIP особливо актуальні там, де обмежений простір не дозволяє використовувати стандартні утеплювачі.

Конопляні мати – екологічний утеплювач, виготовлений із очищеного конопляного волокна методом термоскріплення. Матеріал містить:

- 85–90% натурального конопляного волокна,
- 10–15% бікомпонентного зв'язуючого волокна.

При нагріванні до 200 °С волокна спікаються, утворюючи пружну та стабільну мату.

Переваги матеріалу:

- екологічність – відсутність формальдегідів і синтетичних клеїв;
- висока паропроникність;
- стійкість до цвілі та мікроорганізмів;
- безпечність при монтажі.

Утеплювач застосовують у каркасному будівництві, для мансард, перекриттів та внутрішніх перегородок.

Керамоізол – це рідке теплоізоляційне покриття з керамічними мікросферами, яке наноситься на поверхні будь-якої форми та складності. Матеріал поєднує теплоізоляційні, гідроізоляційні та антикорозійні властивості.

Еквівалентність теплоізоляції:

1 мм керамоізолу  $\approx$

– 250 мм цегляної кладки,

- 50 мм пінобетону,
- 80 мм керамзитобетону.

Діапазон робочих температур: від  $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $+220\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Сфера застосування:

- утеплення фасадів і покрівель;
- ізоляція трубопроводів, нафтопроводів, котельного обладнання;
- захист металевих конструкцій від корозії та конденсату;
- промислові та житлові об'єкти.

Матеріал усуває грибок, промерзання стін, конденсат та корозію, тому є актуальним у реконструкції старої забудови.

1.2.2 Основні технології, які ефективно використовуються при термомодернізації

Сучасні будівельні матеріали характеризуються значно вищими показниками термічного опору порівняно з традиційними, що дає змогу зводити зовнішні стіни меншої товщини, а отже – здешевлювати конструкції та зменшувати загальну вагу будівлі. Водночас зменшення товщини огорожувальних конструкцій неминуче супроводжується зниженням їх теплоємності. Це означає, що такі стіни гірше акумулюють тепло: вони швидко нагріваються під час опалення та з такою ж швидкістю остигають після його припинення [3-5]. Для порівняння: у старих будівлях із масивними стінами влітку зазвичай прохолодно, оскільки за ніч такі стіни акумулюють прохолоду, а вдень повільно нагріваються завдяки значній тепловій інерції.

З огляду на це, питання утеплення необхідно розглядати не ізольовано, а комплексно – у взаємозв'язку з повітропроникністю стін. Якщо підвищення теплового опору огорожувальних конструкцій супроводжується різким зменшенням їх дифузійної здатності, застосування такого утеплення може бути небажаним або навіть шкідливим. Неправильно обрана система теплоізоляції або помилки при її влаштуванні здатні суттєво погіршити санітарно-гігієнічні умови

приміщень, сприяти накопиченню вологи, появи конденсату та розвитку грибкових утворень.

Сьогодні в Україні найпоширенішими є три методи утеплення зовнішніх стін, одним з яких є так званий «мокрый» метод, що передбачає застосування штукатурних систем. Він поділяється на два різновиди – «легкий» та «важкий».

У легких системах плитний теплоізоляційний матеріал кріплять до стіни за допомогою клею та механічних кріплень типу «дюбель-парасолька». Після цього зовнішній шар утеплювача армують склосіткою та покривають тонким шаром штукатурки завтовшки менше 10 мм. Така конструкція є порівняно простою, легкою та економічною, а також забезпечує суцільність теплоізоляційного шару.

1. Важкі системи відрізняються принципово іншим способом монтажу. У цьому випадку утеплювач не приклеюється до стіни. У несучу основу встановлюються спеціальні дюбелі з гаками, на які насаджується плитний утеплювач. Зовнішній шар фіксується притискними пластинами та металевою сіткою, що згодом підлягає штукатуренню. Така система працює як «плаваюча», тобто утеплювач і стіна функціонують незалежно один від одного, що підвищує стійкість фасаду до температурних та вологісних деформацій, а також до дії сейсмічних навантажень. За аналогією з конструкціями підлог подібний тип теплоізоляції можна назвати «плаваючим утеплювачем».

Обидві системи забезпечують необхідний рівень теплоізоляції та погодозахисту, однак вибір конкретної технології залежить від вимог проекту, виду будівлі, умов експлуатації та запланованого декоративного вирішення фасаду. «Мокрий» метод дозволяє сформувати єдину захисно-оздоблювальну оболонку, стійку до атмосферних впливів та механічних навантажень. Схематичний принцип дії цієї системи наведено на рисунку 1.2.

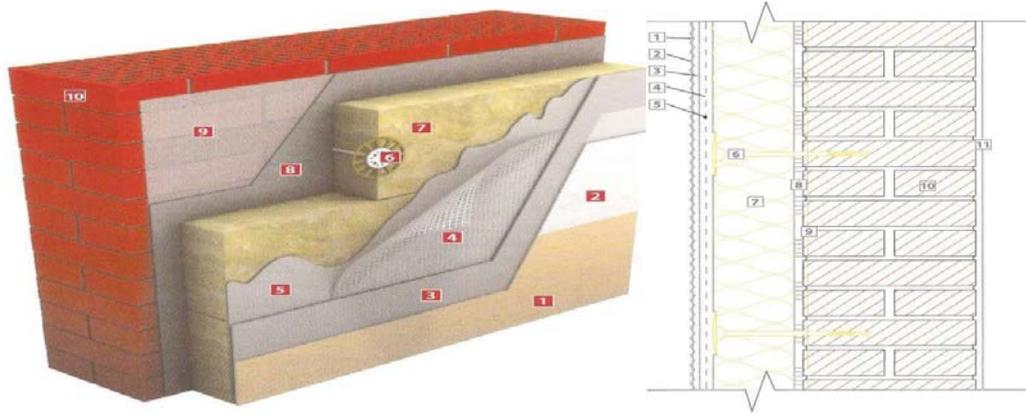


Рисунок 1.2 – Конструктивна схема фасадної системи теплоізоляції за «мокрим» методом: 1 – фінішне лакофарбове покриття (за необхідності); 2 – декоративний штукатурний шар; 3 – кварцова адгезійна ґрунтівка; 4 – армувальна склотканинна сітка; 5 – базовий армувальний шар; 6 – фасадний тарільчастий дюбель; 7 – теплоізоляційний шар; 8 – клейова суміш для монтажу утеплювача; 9 – ґрунтівка зміцнювальної дії; 10 – зовнішня стіна будівлі

2. Багатошарова технологія теплоізоляції стін із цегляною облицювальною верствою передбачає формування зовнішньої огорожувальної конструкції у вигляді тришарової стіни, що складається з несучої стіни, теплоізоляційного шару та облицювальної стіни. Несуча частина виконується з конструктивного матеріалу (зазвичай цегляна або бетонна стіна), до якої з зовнішнього боку кріпиться шар утеплювача з забезпеченням необхідної товщини повітряного прошарку [5]. Зовнішній облицювальний шар формують із лицьової цегли чи стінових каменів; за потреби його додатково оштукатурюють, облицюють штучним каменем, клінкерною плиткою тощо, забезпечуючи при цьому не лише теплозахисні, а й архітектурно-естетичні вимоги. Облицювальна та несуча стіни спираються на спільний фундамент і працюють у комплексі як єдина огорожувальна система. Такий тип стінових конструкцій набув широкого застосування у житловому будівництві, зокрема як огорожувальні стіни, що спираються на плити перекриттів у багатоповерхових каркасно-монолітних будівлях (рис. 1.3).

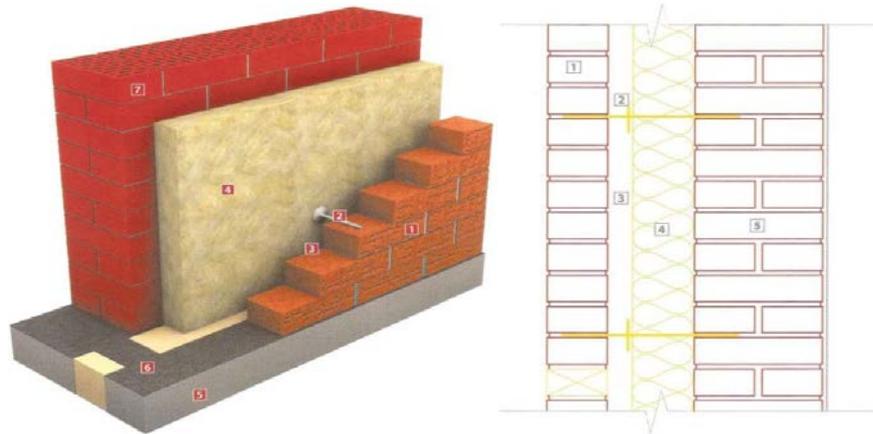


Рисунок 1.3 – Конструктивна схема фасадної системи на основі шаруватої кладки з декоративним цегляним облицюванням: 1 – шар декоративної облицювальної цегли; 2 – гнучкі анкери-зв'язки; 3 – вентиляований повітряний проміжок; 4 – теплоізоляційний шар; 5 – опорне перекриття з використанням системи «термовкладишів»; 6 – горизонтальна гідроізоляційна відсічка; 7 – несучий або самонесучий конструктивний шар (цегляна кладка, легкі блоки густиною не менше  $600 \text{ кг/м}^3$ , або монолітний залізобетон)

Під час проєктування тришарових зовнішніх стін необхідно враховувати комплекс розрахункових параметрів, що визначають їхню надійність, довговічність та експлуатаційну придатність. Передусім виконується перевірка несучої здатності фасадного цегляного шару з урахуванням дії постійних і тимчасових навантажень, а також впливу температурно-вологісних деформацій, спричинених добовими та сезонними коливаннями температури і вологості зовнішнього повітря. Окрему увагу приділяють урахуванню вітрових навантажень, які діють на зовнішній шар стіни та можуть спричинити додаткові напруження і деформації кладки [6].

На основі результатів статичних і деформаційних розрахунків визначають раціональні відстані між вертикальними деформаційними швами, що забезпечують компенсацію температурних подовжень і запобігають утворенню тріщин у облицювальному шарі. Одночасно обґрунтовується схема армування зовнішнього цегляного шару, включаючи тип арматури, її діаметр,

крок і розташування в горизонтальних швах кладки, з метою підвищення тріщиностійкості та просторової жорсткості конструкції.

Важливим етапом проектування є також визначення необхідної кількості, типу та кроку розташування гнучких в'язей, які забезпечують надійне конструктивне з'єднання облицювального шару з несучою частиною стіни через теплоізоляційний прошарок. Параметри гнучких в'язей приймаються з урахуванням товщини стіни, висоти будівлі, вітрового району, а також фізико-механічних властивостей застосованих матеріалів. Правильний підбір і розташування цих елементів забезпечує спільну роботу всіх шарів тришарової стіни як єдиної просторово жорсткої системи та гарантує її експлуатаційну надійність протягом усього строку служби.

3. «Сухі» фасадні системи утеплення з опорядженням панелями та вентиляльованим повітряним прошарком (вентильовані фасади) передбачають монтаж теплоізоляційного шару без застосування штукатурних розчинів. Теплоізоляційний матеріал кріпиться до зовнішньої огорожувальної конструкції за допомогою дюбелів-«грибків», після чого поверх утеплювача встановлюється паропроникна вітрозахисна мембрана [7].

Ключовим елементом системи є вентиляльований повітряний прошарок товщиною 20...50 мм, який розташовується між утеплювачем і зовнішнім облицюванням. Він забезпечує ефективне відведення вологи, створює умови для постійного висихання теплоізоляції та надійно захищає конструкції від атмосферних впливів. Завдяки цьому утеплювач завжди залишається в сухому стані, а фасад не зазнає руйнівної дії циклів заморожування–відтавання.

Зовнішні облицювальні панелі закріплюються на алюмінієвому або сталевому підконструктивному каркасі, що передає навантаження на несучу стіну та забезпечує стабільність системи. Приклад схеми такої фасадної системи наведено на рисунку 1.4. Фасадна система з облицюванням навісними панелями.

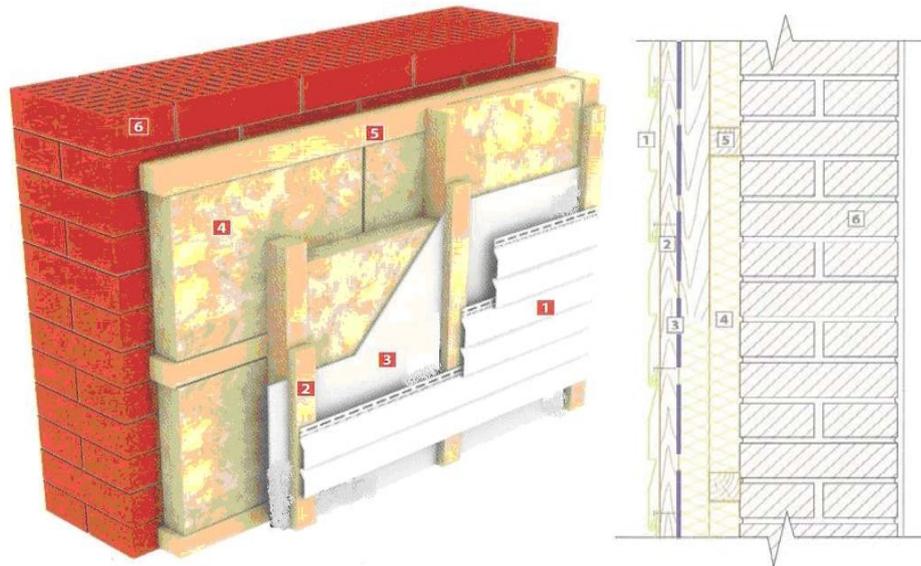


Рисунок 1.4 – Конструктивна схема фасадної системи з використанням навісних облицювальних панелей: 1 – фасадні облицювальні панелі; 2 – контррейка (товщина 3–5 см); 3 – гідро- та вітрозахисна мембрана; 4 – теплоізоляційний шар; 5 – несучий каркас для розміщення теплоізоляції; 6 – кам’яна кладка як основа стіни

### 1.3 Системи вентиляваного фасаду для теплоізоляції стін

Спроби використання вентиляваних фасадів беруть свій початок ще кілька століть тому. Як зазначено у [4], лише у 1849 році Жан-Батист Жобард уперше описав прототип вентиляваної багатошарової огорожувальної системи. Він сформулював принцип природної циркуляції повітря між двома оболонками – несучою стіною будівлі та зовнішньою огорожувальною конструкцією. Згідно з його концепцією, взимку у проміжному просторі повинно циркулювати тепле повітря, тоді як у літній період – прохолодне, що забезпечує термічний комфорт без надмірних енергетичних витрат.

Перший практичний приклад реалізації системи вентиляваного фасаду було зведено у 1903 році на знаному в Німеччині заводі м’яких іграшок «Steiff» у місті Гінген. Основними завданнями були максимізація теплоізоляції та природного освітлення з урахуванням суворих кліматичних умов

регіону – сильних вітрів і низьких температур. Будівлю виконано у вигляді триповерхової конструкції: перший поверх відведено під складські приміщення, а два верхні – під виробничі зони. Успішність рішення зумовила подальше розширення: у 1904 та 1908 роках до основної будівлі добудували дві прибудови, споруджені за аналогічною технологією, хоча задля економії замість сталевих каркасів застосували дерев'яний. Усі ці споруди функціонують і сьогодні, що підтверджує довговічність обраної конструктивної системи [5].

Паралельно відбувався розвиток ідей подвійних огорожувальних систем і в архітектурному середовищі інших країн. У 1903 році Отто Вагнер переміг у конкурсі на проєкт Ощадного банку пошти у Відні, де реалізував подвійне вентилязоване скління перекриття головного залу. Будівля, споруджена двома етапами у 1904–1912 роках, стала одним із ранніх експериментів у сфері керованої повітряної циркуляції в огорожувальних конструкціях.

Згідно з [3], важливим етапом у розвитку технології став внесок швейцарсько-французького архітектора Ле Корбюзьє, який у 1916 році випробував концепцію *mur neutralisant* («нейтралізуюча стіна»). Суть системи полягала у розміщенні труб для опалення та охолодження між шарами великогабаритного скління. Попри зауваження американських інженерів у 1930-х роках щодо високого енергоспоживання, подальші дослідження Харві Брайана довели, що концепція Ле Корбюзьє може бути ефективною у разі поєднання з сонячним опаленням.

У 1937 році архітектор Вільям Лескейз реалізував один із ранніх експериментів у сфері формування багатошарових огорожувальних оболонок будівель – житловий будинок Альфреда Луміса у місті Тукседо-Парк (штат Нью-Йорк, США). Проєкт відзначався застосуванням складної подвійної оболонки будівлі з міжфасадним повітряним простором глибиною близько 0,6 м, який функціонував як контрольоване інженерне середовище. Зазначений повітряний прошарок був обладнаний окремою системою кондиціонування, призначеною для підтримання стабільно підвищеного рівня вологості, що забезпечувало задані

мікрокліматичні параметри внутрішніх приміщень та захист чутливих до висихання матеріалів інтер'єру.

Даний об'єкт розглядається як один із перших прикладів інтеграції архітектурних рішень із інженерними системами клімат-контролю в межах фасадної оболонки будівлі, що випередив свій час і заклав концептуальні передумови для розвитку сучасних подвійних фасадів.

Одним із перших зразків сучасного подвійного фасаду вважається також адміністративна будівля *Occidental Chemical Building*, зведена у 1980 році в місті Ніагарський водоспад (штат Нью-Йорк) за проектом архітектурної компанії *Cannon Design*. Будівля виконана у вигляді скляного об'єму кубічної форми з внутрішньою повітряною порожниною між зовнішньою та внутрішньою скляними оболонками глибиною близько 1,2 м.

Міжфасадний простір у даному проекті виконує функцію кліматичного буфера та використовується для попереднього підігріву припливного повітря в холодний період року. Таке інженерно-архітектурне рішення дозволяє знизити теплові втрати будівлі, підвищити енергоефективність систем вентиляції та забезпечити більш стабільний температурний режим внутрішнього середовища. Реалізація цього об'єкта стала важливим етапом у становленні концепції подвійних фасадів як ефективного інструменту енергозбереження та адаптивного управління мікрокліматом будівель [5].

У сучасному будівництві вентилязовані фасадні системи отримали широке застосування завдяки своїй енергоефективності, збільшенню довговічності огорожувальних конструкцій і високим архітектурним можливостям. Вони дозволяють оптимізувати використання матеріальних і трудових ресурсів, забезпечивши при цьому захист від атмосферних впливів, підвищений комфорт та економію енергоресурсів протягом усього життєвого циклу будівлі.

### 1.3.1 Матеріали та конструктивні рішення для влаштування систем вентилязованих фасадів

Відповідно до вимог нормативного документа [5], монтаж фасадної теплоізоляції допускається виконувати лише після повного завершення зведення несучих конструкцій зовнішніх стін будівлі або споруди та проведення їх комплексної технічної оцінки. Зазначена оцінка спрямована на підтвердження відповідності геометричних, конструктивних і експлуатаційних характеристик огорожувальних елементів вимогам проєктної документації та чинних будівельних норм.

До початку монтажних робіт обов'язково здійснюється детальне обстеження зовнішніх поверхонь стін, покрівлі та цокольної частини будівлі. У процесі обстеження перевіряють наявність можливих відхилень від вертикальності та площинності як у межах окремих поверхів, так і по будівлі в цілому, що може впливати на рівномірність кріплення теплоізоляційних матеріалів і подальшу експлуатаційну надійність фасадної системи [8].

Окрему увагу приділяють виявленню пошкоджень і дефектів у зоні цоколя, у місцях примикання зовнішніх стін до цокольної частини, а також у вузлах прилягання дверних і віконних блоків. Такі ділянки є потенційно небезпечними з точки зору утворення містків холоду, проникнення вологи та зниження довговічності теплоізоляційного шару.

Крім того, оцінюється рівність поверхні стін, наявність тріщин, раковин, відшарувань або інших дефектів основи, які можуть негативно вплинути на адгезію кріпильних і клейових матеріалів та якість монтажу фасадної теплоізоляційної системи в цілому. За результатами обстеження приймається рішення щодо необхідності виконання підготовчих або ремонтно-відновлювальних робіт перед початком основного етапу утеплення фасаду.

Конструкція вентилязованого фасаду складається з опорного металевих каркаса, теплоізоляційного шару та зовнішнього облицювання. Ключовим елементом системи є повітряний прошарок фіксованої товщини, який утворюється між теплоізоляцією та оздоблювальним матеріалом. Така

тришарова схема забезпечує зниження теплопередачі в конструкції та поступове збільшення опору паропроникненню у напрямку ззовні всередину. Особливість вентильованого фасаду полягає у функціонуванні повітряного прошарку за принципом природної витяжної вентиляції: за рахунок перепаду тиску повітря рухається знизу догори, видаляючи надлишкову вологу з теплоізоляційного шару. Оскільки прошарок виконує роль температурного буфера, тепловтрати будівлі зменшуються, а температура повітря всередині нього, як правило, на 2–3 °С вища, ніж зовні. Зовнішнє облицювання додатково захищає утеплювач і стіну від атмосферних впливів та циклів заморожування–відтавання [8].

Каркасні системи вентильованих фасадів виконують переважно з трьох типів матеріалів: алюмінієвого сплаву, оцинкованої сталі та нержавіючої сталі. Оцинкована сталь, хоч і є дешевшою на 20–30% за алюміній, характеризується нижчою довговічністю: при найменших пошкодженнях цинкового шару (сколах, різках, подряпинах), які можуть виникнути навіть під час транспортування чи монтажу, корозійні процеси починаються вже через 7–10 років. Алюмінієві та нержавіючі системи є дорожчими, проте забезпечують значно більший ресурс експлуатації та корозійну стійкість.

Кронштейни – один із найвідповідальніших елементів системи, адже саме через них навантаження від облицювання та утеплювача передається на несучу стіну. Водночас кронштейни є потенційними містками холоду. Для мінімізації тепловтрат під кронштейни встановлюють термопрокладки з параніту або ПВХ, які одночасно виконують захисну функцію та компенсують негативний вплив різниці температур.

Вибір теплоізоляційного матеріалу для вентильованих фасадів визначається його стійкістю до повітряних потоків, паропроникністю та здатністю зберігати форму. Найдоцільніше застосовувати волокнисті матеріали – мінераловатні, базальтові або скловолокнисті плити, які забезпечують хороші тепло- та звукоізоляційні властивості. Проте їхня структурна легкість робить їх чутливими до інтенсивного руху повітря у вентильованому прошарку. Щоб запобігти руйнуванню поверхневих шарів

утеплювача, по зовнішній стороні плит укладається вітрогідрозахисна мембрана, яка одночасно пропускає водяні пари та затримує вітер і вологу [2,9].

Для облицювання вентиляованих фасадів сучасний ринок пропонує широкий асортимент матеріалів з різними фактурами, кольорами та технічними характеристиками. Найбільш розповсюджені: композитні алюмінієві панелі (рейнобонд, алюконбонд, алполік), керамогранітні плити, фіброцементні та азбестоцементні листи, а також металеві касети, панелі та сайдинг. Вибір облицювання залежить від архітектурної концепції, вимог до довговічності та бюджету проекту.

### 1.3.2 Технологічні особливості влаштування навісних вентиляованих фасадів

Перед виконанням монтажу системи вентиляованого фасаду обов'язковою умовою є розроблення окремого проекту, у якому визначаються всі конструктивні рішення, розраховуються навантаження, що діятимуть на конструкцію, встановлюються параметри несучих елементів та уточнюється необхідна кількість матеріалів. Основні вимоги до проектування та монтажу вентиляованих фасадів визначені у нормативних документах [5], що регламентують правила підготовки та виконання робіт. Під час підготовчого етапу необхідно виконати комплекс заходів [6]: видалити всі зайві конструкції та елементи — декоративні деталі, освітлювальні прилади, старі кріплення та інші пристрої; відремонтувати великі тріщини в стінах, оскільки, хоча утеплювач і перекриє їх, у тріщинах може накопичуватися конденсат, який поступово руйнуватиме конструкцію; очистити поверхні від цвілі та грибка, здійснити протигрибкову обробку; перевірити здатність стіни витримувати навантаження, закріпивши у різних точках 2–3 дюбелі та переконавшись у надійності кріплення.

Вирівнювання стін перед монтажем вентиляованого фасаду не є обов'язковою вимогою, однак кривизну поверхні слід враховувати, оскільки вентиляований зазор має бути однаковим по всій площині фасаду. Компенсація нерівностей виконується за допомогою кронштейнів різної довжини. Розмітка

виконується від найнижчої точки будівлі із використанням лазерного рівня; при застосуванні шнура перевагу слід надавати капроновому, щоб уникнути провисань. Відстань між направляючими визначають виходячи з розмірів облицювальних елементів та утеплювача, що безпосередньо впливає на геометрію майбутнього фасаду і якість монтажу каркасу.

Установлення направляючих рейок виконується відповідно до проєктної документації та інструкцій виробника системи, оскільки різні виробники можуть застосовувати різні конструктивні рішення. Незмінною залишається базова вимога: зовнішні площини всіх направляючих мають утворювати одну рівну площину, без перекосів, що запобігає деформації облицювання. Крок направляючих визначають, враховуючи розміри утеплювача, а навколо дверних і віконних прорізів обов'язково встановлюють посилений каркас. Розміщення кронштейнів виконується від кута будівлі з кроком 45–50 см, при цьому відстань від краю стіни має бути не меншою ніж 100 мм [10].

Щоб уникнути появи містків холоду, під кожен кронштейн встановлюють термопрокладки з пароніту або ПВХ. П-подібні профілі-стояки фіксуються на кронштейнах, і після монтажу крайніх профілів решту елементів вирівнюють в єдиній площині. Якщо довжина стіни значна, окремі проміжні стояки встановлюють наперед, щоб забезпечити точність подальшого монтажу. Для формування прорізів, кутів та складних ділянок застосовують горизонтальні перемички. Якщо проєктом передбачено вертикальне розташування фасадних панелей, несучі профілі монтують горизонтально. Анкерні кріплення повинні мати антикорозійне покриття; свердління отворів виконують діаметром на 5 мм більшим за довжину дюбеля. Важливо, що анкерні дюбелі категорично заборонено встановлювати у шви кладки.

Теплоізоляційні матеріали у вентильованих фасадах повинні належати до класу негорючих. Частіше за все використовуються гідрофобізовані мінеральні плити із щільнішим зовнішнім шаром, що запобігає вивітрюванню матеріалу. Теплоізоляцію вкладають уприутул до конструкції каркаса або ж фіксують тарілчастими дюбелями відповідно до рекомендацій виробника. У нижній

частині стіни монтують стартову планку, яка виконує функцію опори утеплювача та захищає його від гризунів. Щоб уникнути містків холоду, необхідно контролювати ступінь зминання утеплювача під час монтажу.

Поверх утеплювача обов'язково монтується вітрогідрозахисна дифузійна мембрана з високою паропроникністю. Вона забезпечує вихід водяної пари з утеплювача, запобігаючи при цьому проникненню вологи із зовнішнього середовища. Полотна мембрани монтуються горизонтально знизу догори з напуском не менше 15 см. Мембрану фіксують тарілчастими дюбелями, при цьому її краї заводять за утеплювач і формують додаткові напуски по 10–15 см.

Для облицювання вентиляованих фасадів використовують як «легкі», так і «важкі» системи. До легких належать пластиковий та металевий сайдинг, металеві профілі та дерев'яні панелі. До важких — керамогранітні плити, плити зі штучного та натурального каменю розмірами від 30×30 см до великих форматів 120×120 см і більше. Фасадні панелі можуть монтуватися безпосередньо на стіну або на каркасні системи. Кріплення може бути видимим (заклепки, саморізи, клямери) або прихованим, коли пази виконуються у тильній частині панелі. Видиме кріплення є дешевшим і простішим, тоді як приховане забезпечує більш естетичний вигляд, але збільшує загальні витрати на монтаж [10].

## Висновок за розділом 1

У розділі проведено комплексний аналіз сучасних інженерно-конструкторських рішень щодо влаштування систем утеплення зовнішніх стін житлових будинків та розкрито функціональні принципи проєктування складних багатошарових стінових конструкцій, характерних для енергоефективних будівель. На основі огляду наукових джерел, нормативної бази та практичного досвіду систематизовано ключові вимоги до теплоізоляційних систем, їх конструктивні особливості, експлуатаційні переваги та обмеження.

Сформульовано та обґрунтовано актуальність дослідження, що полягає у необхідності підвищення енергетичної ефективності житлового фонду України відповідно до сучасних європейських стандартів та державних програм з енергозбереження. Встановлено, що застосування систем вентилятованих фасадів, як одного з найбільш технологічно прогресивних та довговічних методів утеплення, є одним із пріоритетних напрямів державної політики у сфері модернізації будівель.

На основі нормативно-технічної літератури та описаних у ній рекомендацій щодо проектування, монтажу й експлуатації вентилятованих фасадів виявлено коло актуальних проблем та сформульовано завдання власного дослідження. Зокрема, окреслено потребу у техніко-економічному порівнянні різних фасадних систем, аналізі їх теплозахисних характеристик, визначенні оптимальних конструктивних рішень для умов експлуатації житлових будівель, а також у розробленні рекомендацій щодо забезпечення довговічності та безпечності експлуатації вентилятованих фасадів у сучасних містобудівних умовах.

## **РОЗДІЛ 2.**

### **ТЕПЛОТЕХНІЧНИЙ АНАЛІЗ ЗОВНІШНІХ СТІН, ОСНАЩЕНИХ СИСТЕМАМИ ВЕНТИЛЬОВАНИХ ФАСАДІВ**

#### 2.1 Методичні підходи до теплотехнічного аналізу системи навісного вентильованого фасаду із застосуванням комплексу ANSYS Workbench

Базуючись на методі кінцевих елементів (МКЕ), програмний комплекс ANSYS дає змогу розв'язувати широкий спектр задач з різних галузей прикладної фізики – теплопередачі, механіки твердого тіла, механіки рідин і газів, а також задач як стаціонарного, так і нестаціонарного типу. Інструментальні середовища ANSYS Mechanical та ANSYS Workbench забезпечують інтегроване моделювання складних фізичних процесів із урахуванням нелінійних властивостей матеріалів, контактних взаємодій, циклічних впливів, складних структурних моделей та багатофізичних зв'язків.

Метод кінцевих елементів, що лежить в основі ANSYS, дозволяє формалізувати фізичну задачу шляхом складання диференціальних або варіаційних рівнянь, які описують поведінку досліджуваної системи. Термічний аналіз у середовищі ANSYS охоплює моделювання теплопровідності, конвекції, випромінювання та комбінованих теплофізичних процесів, що дає можливість отримати високоточну картину теплового стану конструкцій. Для коректного виконання розрахунків програмний комплекс структурує роботу у три класичні етапи МКЕ.

Перший етап – побудова елементної моделі. На цьому етапі визначають фізичний тип задачі (у даній роботі – задача теплопередачі), що задає базові параметри обчислювального середовища. Далі обирається тип кінцевого елемента залежно від геометричних характеристик моделі, складності конструкції та необхідного рівня точності. Коректний вибір елемента визначає якість апроксимації поля температур і теплових потоків. Після цього задаються матеріальні властивості – теплопровідність, густина, теплоємність, модуль

пружності, коефіцієнт температурного розширення тощо. Ці характеристики визначають модель матеріалу (лінійно-пружну, пружно-пластичну, білінійну та ін.), що впливає на тип і структуру рівнянь МКЕ. Геометрія створюється у DesignModeler або імпортується з CAD-системи. Після побудови геометрії виконується дискретизація – поділ моделі на кінцеві елементи із можливістю адаптації сітки, згущення у критичних зонах та оптимізації її параметрів. Для контактних взаємодій задаються контактні пари, їх тип та характеристики [11].

Другий етап – застосування фізичних умов та розрахунків. До моделі задаються граничні умови: теплові потоки, фіксовані температури, конвективні коефіцієнти, умови теплового випромінювання та інші параметри, які визначають фізичну постановку задачі. Вибирається тип аналізу – статичний (стаціонарний) або перехідний тепловий, а за необхідності – модальний чи динамічний. Після цього встановлюються числові параметри обчислень: кількість ітерацій, метод розв’язання систем рівнянь, критерії збіжності. Система рівнянь МКЕ формується автоматично та розв’язується із подальшим створенням файлу результатів.

Третій етап – аналіз та інтерпретація результатів. ANSYS забезпечує розширене візуалізаційне середовище, що дає змогу аналізувати температурні поля, теплові потоки, градієнти температур, карти деформацій і напружень, а також числові та графічні результати. Це дозволяє комплексно оцінити теплову поведінку конструкції, виявити зони надмірних тепловтрат, визначити ефективність ізоляційних шарів і встановити вплив конструктивних елементів на теплопровідність системи. У пункті 3.1 наведено повний перелік використаних параметрів, вихідних даних і підсумкових результатів моделювання [11-13].

2.2 Методичні підходи до розрахунку опору теплопередачі конструкцій зовнішніх стін будівель з фасадною теплоізоляцією та вентиляваним повітряним прошарком

Згідно з [2], мінімальний опір теплопередачі огорожувальних конструкцій ( $R_{q,min}$ ) визначається залежно від географічного розташування об'єкта та належності будинку до відповідної температурної зони експлуатації. Нормативно встановлені значення  $R_{q,min}$  для регіонів України наведено на рисунку 2.1, що забезпечує можливість коректного підбору теплоізоляційних матеріалів та конструктивних рішень з урахуванням кліматичних особливостей конкретної місцевості та вимог енергоефективності.



Рисунок 2.1 – Карта температурних зон України

Відповідно до положень [14-16], акредитовані лабораторні дослідження забезпечують визначення основних показників теплопровідності

теплоізоляційного шару зовнішніх огорожувальних конструкцій у реальних умовах експлуатації. Проведення таких досліджень дозволяє отримати об'єктивні значення коефіцієнта теплопровідності з урахуванням впливу вологості, температурного режиму, старіння матеріалів та інших експлуатаційних факторів, які не завжди можуть бути повною мірою відображені в паспортних або довідкових даних виробників.

Отримані експериментальні показники є критично важливими для забезпечення достовірності теплотехнічних розрахунків, зокрема при визначенні приведенного опору теплопередачі огорожувальних конструкцій, оцінці рівня тепловтрат та прогнозуванні енергоефективності будівлі в цілому. На їх основі здійснюється обґрунтований вибір типу та товщини теплоізоляційних матеріалів, а також приймаються оптимальні конструктивні рішення при проектуванні зовнішніх стін.

Під час проектування будівель обов'язковим є також урахування теплофізичних характеристик будівельних матеріалів, наведених у нормативному документі [16], який встановлює розрахункові значення коефіцієнтів теплопровідності, теплоємності та паропроникності для різних умов експлуатації. Використання зазначених нормативних даних забезпечує уніфікований підхід до теплотехнічних розрахунків та відповідність проектних рішень чинним будівельним нормам.

Ігнорування або некоректне врахування фактичних теплофізичних параметрів матеріалів, а також відхилення їх реальних значень від нормативних, може призвести до суттєвого збільшення тепловтрат через огорожувальні конструкції, зниження класу енергоефективності будівлі та невідповідності проекту встановленим вимогам енергозбереження. У зв'язку з цим поєднання результатів лабораторних досліджень і нормативних розрахункових показників є необхідною умовою формування надійних та енергоефективних проектних рішень.

Для виконання подальших розрахунків було обрано фрагмент зовнішньої стіни житлового будинку, до складу якої входять: фасадна теплоізоляція,

індустріальне облицювання та вентиляований повітряний прошарок. Об'єкт розташований у I температурній зоні, що передбачає підвищені вимоги до мінімального опору теплопередачі огорожувальних конструкцій відповідно до чинних нормативів. Розрахункова ділянка має розміри 3 × 4 м (висота × ширина) і моделюється як частина плоскошарової системи з паралельним розташуванням компонентів. Такий підхід забезпечує коректність теплотехнічного аналізу в плоскосиметричному наближенні та дозволяє точно визначити вплив кожного шару на загальний термічний опір.

Для обчислення загального опору теплопередачі зовнішньої стіни ( $R_{\Sigma}$ ) використовується формула (2.1), регламентована вимогами [2]:

$$R_{\Sigma} = \frac{1}{\alpha_{\text{в}}} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_{i\text{р}}} + \frac{1}{\alpha_{\text{з}}} \quad (2.1),$$

де  $\alpha_{\text{в}}$ ,  $\alpha_{\text{з}}$  –тепловіддача внутрішньої та зовнішньої поверхонь огорожувальної конструкції, Вт/(м<sup>2</sup>·К) (табл. 2.2);

$\delta_i$  – товщина і-го шару зовнішніх стін, м;

$\lambda_{i\text{р}}$  – теплопровідність матеріалу, що розраховується для і-го шару зовнішніх стін в розрахункових умовах, Вт/(м·К), що приймається для умов експлуатації «Б».

Таблиця 2.2 – Значення коефіцієнтів тепловіддачі ( $\alpha_{\text{в}}$ ,  $\alpha_{\text{з}}$ )

Коефіцієнт тепловіддачі, Вт/(м <sup>2</sup> ·К)	
Внутрішньої поверхні, $\alpha_{\text{в}}$ , Вт/(м <sup>2</sup> ·К)	Зовнішньої поверхні, $\alpha_{\text{з}}$ , Вт/(м <sup>2</sup> ·К)
8,7	12

Особливості теплопровідних включень, характерних для огорожувальної конструкції навісного вентиляованого фасаду, охоплюють низку елементів, які здатні суттєво впливати на загальну теплоефективність

стінової системи та формувати зони локального зниження термічного опору. До основних типів таких включень належать:

– лінійні теплопровідні включення, серед яких віконні відкоси, підвіконня та ділянки перемичок над віконними прорізами. Через їх значну протяжність та підвищену теплопровідність вони суттєво впливають на однорідність температурного поля зовнішньої стіни;

– точкові включення першого типу — кріпильні дюбелі, що використовуються для механічної фіксації теплоізоляційного шару. Попри невеликі геометричні розміри, їх металевий стрижень забезпечує значний локальний тепловий потік;

– точкові включення другого типу — елементи кріпильної підсистеми навісного вентиляваного фасаду, зокрема несучі кронштейни. Через високий коефіцієнт теплопровідності металів вони формують інтенсивні «містки холоду» та здатні знижувати енергоефективність фасадної системи на десятки відсотків у разі неправильного проектування.

Кожен із перелічених елементів має власний коефіцієнт теплопередачі, що враховується при теплотехнічних розрахунках відповідно до проектної документації та методичних положень, наведених у [2]. Ці показники включаються до розрахунку сумарного опору теплопередачі зовнішньої стіни з урахуванням теплопровідних неоднорідностей, що дозволяє отримати реалістичну оцінку енергоефективності системи вентиляваного фасаду.

Таблиця 2.3 містить середні значення коефіцієнтів теплопередачі зазначених теплопровідних включень, використані при виконанні розрахунків у межах даної кваліфікаційної роботи.

Таблиця 2.3 – Коефіцієнти теплопередачі основних теплопровідних включень

Назва включення	Лінійний коефіцієнт теплопередачі, $k$ , Вт/(м·К)	Точковий коефіцієнт теплопередачі, $\psi$ , Вт/К
Віконний відкос в зоні перемички протяжністю 1,5м	0,0625	-
Віконний відкос в зоні підвіконня протяжністю 1,5м	0,0345	-
Віконний відкос в зоні рядового примикання протяжністю 1,5м	0,048	-
Дюбелі для кріплення утеплювача у кількості 74 шт	-	0,0055
Несучі кронштейни для кріплення елементів підсистеми вентильованого фасаду кількості 20 шт	-	0,016

На основі зібраних даних щодо теплофізичних характеристик матеріалів, а також значень, наведених у таблиці 2.2, визначається приведений опір теплопередачі зовнішніх стін згідно з формулою (2.2).

$$R_{\Sigma \text{ пр}} = \frac{F_{\Sigma}}{\sum_{i=1}^I \frac{F_i}{R_{\Sigma i}} + \sum_{j=1}^J k_j L_j + \sum_{k=1}^K \psi_k N_k} \quad (2.2),$$

де  $F_{\Sigma} = 12 \text{ м}^2$  – загальна площа конструкції, м<sup>2</sup>;

$R_{\Sigma i}$  – опір теплопередачі  $i$ -ої термічнооднорідної частини конструкції, (м<sup>2</sup>·К)/Вт;

$F_i = 12 \text{ м}^2$  – площа  $i$ -ої термічнооднорідної частини конструкції, м<sup>2</sup>;

$k_i$  – лінійні коефіцієнти теплопередачі  $j$ -го термічнооднорідного теплопровідного включення, Вт/(м·К);

$L_i$  – лінійні розміри  $j$ -го лінійного теплопровідного включення, м;

$\psi_k$  – точкові коефіцієнти теплопередачі  $k$ -го точкового включення, що має теплопровідність, Вт/К ;

$N_k$  – загальна  $k$ -сть точкових  $k$ -их теплопровідних включень, шт. Далі проводиться перевірка відповідності нормативним вимогам [17].

## Висновок за розділом 2

Дослідження різних варіантів зовнішніх огорожувальних конструкцій дозволяє сформулювати узагальнене уявлення про їх експлуатаційні властивості, енергоефективність та технологічні особливості. Кожна конструктивна система має притаманні їй переваги та недоліки, що проявляються як на етапі виготовлення та монтажу, так і протягом тривалого періоду експлуатації будівлі. У цьому контексті особливого значення набуває не лише раціональний вибір основного стінового матеріалу, який забезпечує необхідну міцність і довговічність споруди, але й правильне визначення типу та параметрів теплоізоляційного шару.

Саме теплоізоляція формує здатність огорожувальної конструкції протидіяти тепловтратам, підтримувати стабільний мікроклімат, забезпечувати відповідність чинним нормативним вимогам щодо опору теплопередачі та критеріям енергоефективності. Крім того, вибір утеплювача визначає конструктивні рішення щодо монтажу, довговічність системи та чутливість до утворення містків холоду.

Таким чином, комплексний підхід до проектування зовнішньої стінової конструкції — із урахуванням властивостей несучого матеріалу, типу й товщини теплоізоляції, системи її кріплення, особливостей монтажу та мінімізації теплопровідних включень — є ключовим чинником забезпечення високої якості, надійності та енергоощадності будівлі.

### РОЗДІЛ 3

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТЕПЛОВИХ МОСТІВ НА СИСТЕМУ ВЕНТИЛЬОВАНОГО ФАСАДУ ТА ЇЇ ОПТИМІЗАЦІЯ МЕТОДОМ ТЕРМІЧНОГО АНАЛІЗУ

### 3.1 Дослідження впливу теплових мостів на ефективність роботи системи навісного вентиляваного фасаду

Дослідження виконувалося у два послідовні етапи та було спрямоване на комплексне вивчення впливу теплопровідних включень на теплотехнічні характеристики систем вентиляваних фасадів. Такий підхід дозволив поетапно оцінити як локальні ефекти утворення точкових теплових мостів, так і їхній сумарний вплив на загальну енергоефективність фасадної системи.

На першому етапі дослідження здійснювався аналіз впливу точкових термомостів, що формуються в місцях встановлення кріпильних кронштейнів, на геометричні та конструктивні параметри системи кріплення. Зокрема, досліджувався вплив висоти кронштейнів, їх просторового розташування, а також ефективності застосування термопрокладок як елементів, призначених для зменшення інтенсивності теплового потоку у зоні контакту металевих кронштейнів з несучою стіною.

Другий етап дослідження був присвячений оцінці впливу точкових теплових мостів на загальну теплопровідність системи вентиляваного фасаду з урахуванням конструктивних особливостей кронштейнів, типу кріпильних елементів та матеріалів, з яких вони виготовлені [18]. Аналіз проводився з урахуванням спільної роботи всіх шарів огорожувальної конструкції та реальних умов експлуатації будівлі.

На відміну від систем утеплення за «мокрим способом», у яких вплив теплових мостів є порівняно незначним, у конструкціях вентиляваних фасадів їх роль є визначальною. Це обумовлено необхідністю влаштування значної кількості точок механічного кріплення облицювального шару до несучої стіни.

Металеві кронштейни, виготовлені зі сталі або алюмінію, пронизують теплоізоляційний шар, утворюючи локальні теплопровідні включення. Незважаючи на незначний об'єм таких елементів у порівнянні з основним теплоізоляційним шаром, коефіцієнт теплопровідності металів перевищує відповідний показник теплоізоляційних матеріалів більш ніж у 2000 разів.

Унаслідок цього в зимовий період відбувається інтенсивний тепловий потік від теплого внутрішнього повітря приміщення до холодного зовнішнього середовища, а в літній період – зворотний процес теплопередачі, що призводить до підвищення теплових навантажень на систему кондиціонування. За результатами попередніх досліджень встановлено, що наявність точкових теплових мостів може знижувати загальну енергоефективність систем вентильованих фасадів більш ніж на 20 %, що суттєво впливає на енергетичний баланс будівлі [19].

У першій частині роботи детально проаналізовано фізичні процеси теплопередачі, які виникають у зоні точкового теплового мосту, а також визначено конструктивні параметри, що мають найбільший вплив на інтенсивність теплового потоку. Розглянуто геометрію кронштейнів, фізико-механічні та теплофізичні властивості матеріалів їх виготовлення, тип і структуру теплоізоляційного шару, характеристики несучої стіни, а також роль термопрокладок у зниженні тепловтрат. Особливу увагу приділено властивостям термопрокладок як елементів, що переривають безперервний шлях теплового потоку в зоні контакту кронштейна з огорожувальною конструкцією.

У межах дослідження передбачено проведення детального термічного аналізу проходження теплового потоку через кріпильні елементи системи вентильованого фасаду з використанням методу кінцевих елементів (рис. 3.1). Чисельне моделювання дозволяє отримати розподіл температурних полів, теплових потоків та локальних теплових втрат у вузлах кріплення, а також оцінити ефективність різних конструктивних варіантів [15].

Кріпильні елементи моделюються у складі повної огорожувальної конструкції будівлі, що забезпечує максимальне наближення розрахункових

умов до реальних експлуатаційних. Отримані результати моделювання створюють основу для визначення оптимальних конструктивних рішень, спрямованих на мінімізацію теплопровідності кронштейнів та підвищення загальної енергоефективності фасадної системи.

Результати проведених досліджень дозволять сформулювати практичні рекомендації щодо проектування та монтажу систем вентиляованих фасадів, орієнтовані на зменшення тепловтрат, підвищення ефективності теплозахисту огорожувальних конструкцій та покращення енергетичної ефективності будівель за рахунок мінімізації впливу точкових теплових мостів.

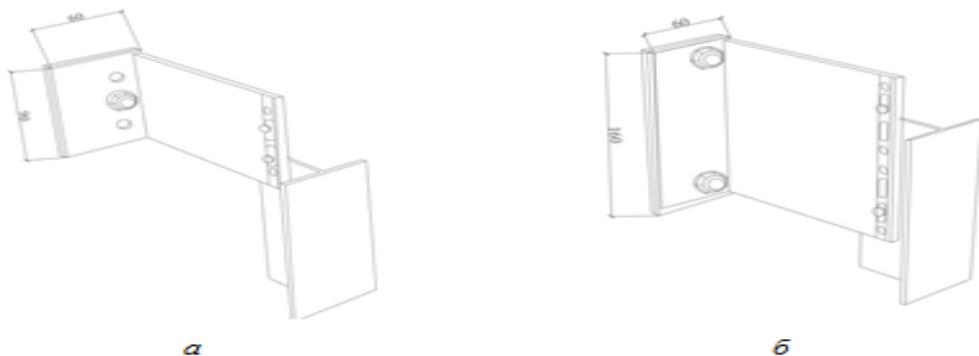


Рисунок 3.1 – Конструктивні варіанти кріпильних елементів вентиляованого фасаду: а – кронштейн на половину висоти, б – кронштейни на повну висоту

У місцях кріплення навісного вентиляованого фасаду (НВФ) до несучої стіни будівлі застосовуються два типи кронштейнів: кронштейн на половину висоти (рис. 3.1, а) та кронштейн на повну висоту (рис. 3.1, б). Вибір типу кронштейна впливає на інтенсивність теплового потоку через конструкцію та, відповідно, на величину утворюваного точкового теплового мосту.

Згідно з [19], аналіз методом кінцевих елементів (МКЕ) є найбільш точним та надійним інструментом для дослідження складних геометричних конфігурацій, особливо у випадках, коли теплові процеси залежать від форми, матеріальних характеристик та взаємодії елементів конструкції. Тому для оцінки впливу точкових теплових мостів, спричинених кріпильними елементами НВФ, у програмному середовищі ANSYS Workbench було створено детальну

обчислювальну модель (рис. 3.2). Модель враховує геометричні параметри кронштейнів, теплофізичні властивості матеріалів, умови теплопередачі та характер контакту між елементами системи, що дозволяє отримати достовірні результати термічного аналізу.

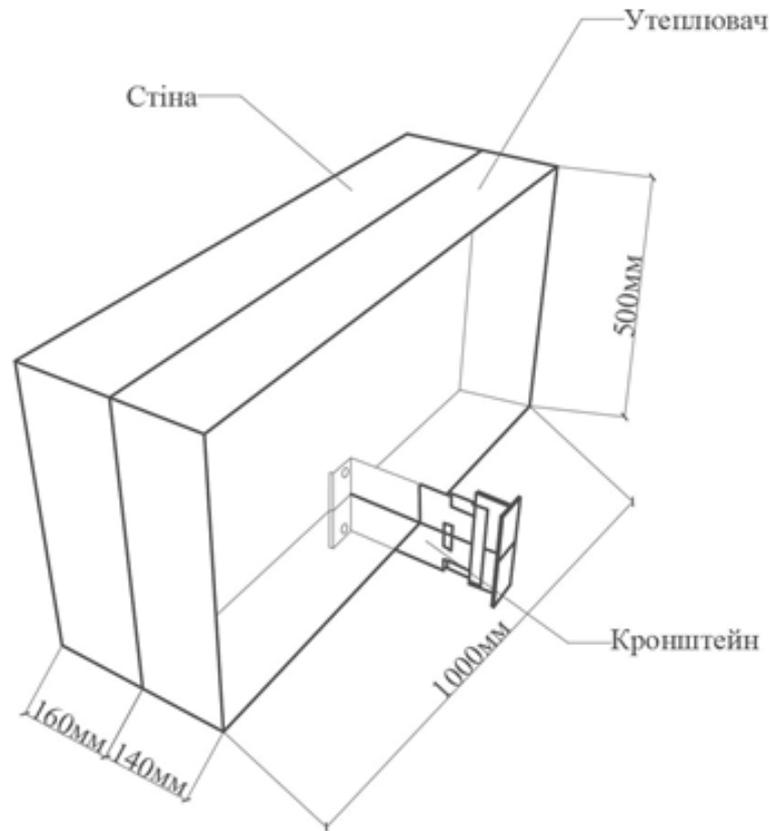


Рисунок 3.2 – Параметри досліджуваної моделі

Оскільки фактичний вузол кріплення облицювання має симетрію у горизонтальній площині, ця особливість була використана при побудові розрахункової моделі для зменшення її геометричних розмірів та, відповідно, скорочення часу обчислень без втрати точності. Такий підхід дає змогу оптимізувати процес моделювання та підвищити ефективність чисельного аналізу.

Усі параметри моделі, за винятком незмінних конструктивних характеристик та площі елемента, є змінними та розглядаються в межах дослідження для оцінки їх впливу на теплотехнічну роботу вузла. Згідно з рис. 3.3, а, середня кількість тетраедричних елементів у розрахунковій сітці

становить близько 150 000, що забезпечує достатню точність просторової апроксимації. Водночас фактична кількість кінцевих елементів може змінюватися залежно від досліджуваних параметрів, необхідної точності аналізу та адаптивного згущення сітки в критичних зонах.

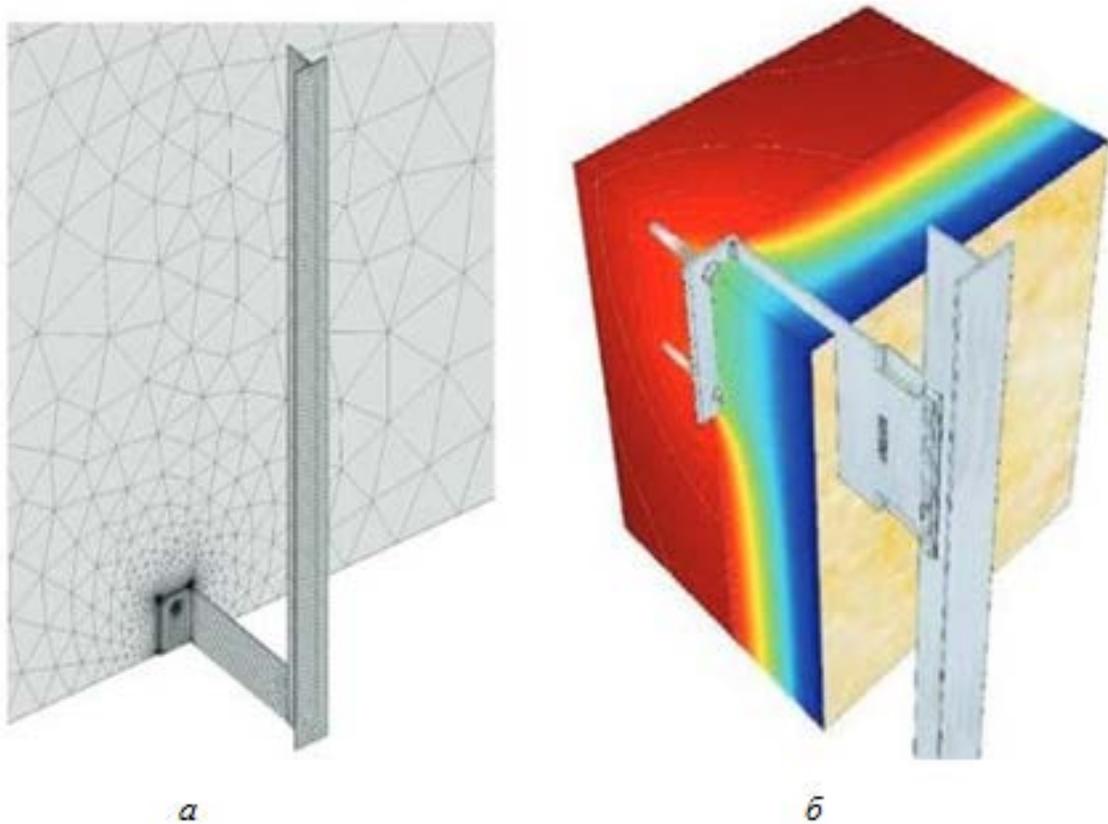


Рисунок 3.3 – Імітаційний елемент для дослідження з використанням

Багатопараметричний характер утворення точкових термомостів суттєво впливає як на теплофізичні властивості системи, так і на геометрію досліджуваного зразка. Усі матеріали, що застосовуються в конструкції вентиляваного фасаду, мають власні теплотехнічні характеристики, які по-різному реагують на зміни умов експлуатації та конструктивних параметрів. Величина теплового мосту може змінюватися внаслідок варіації будь-якого з цих параметрів, причому такі зміни не завжди підкоряються лінійним залежностям. Більш того, напрям зміни теплового потоку може бути як прямим, так і зворотним, що ускладнює прогнозування його інтенсивності [19].

Через це інженерам необхідно комплексно враховувати всі конструктивні та геометричні характеристики системи вентильованого фасаду — тип та розміри кронштейнів, характеристики термопрокладок, товщину та теплопровідність утеплювача, відстань між кріпильними елементами, конфігурацію каркаса тощо. Лише за умови такого інтегрального підходу можливо забезпечити високу точність моделювання, достовірність результатів та коректну оцінку впливу точкових теплових містків на загальну енергоефективність системи.

Оскільки сучасні фасадні системи мають модульну структуру та повинні легко адаптуватися до різних архітектурних і конструктивних рішень, глибоке розуміння багатопараметричної взаємодії матеріалів та елементів кріплення є критично важливим. Параметри, використані у даному дослідженні, наведено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Розрахункові параметри досліджуваних елементів, що застосовуються для аналізу впливу теплових мостів у системі навісного вентильованого фасаду залежно від висоти кріпильних кронштейнів та наявності термопрокладки

№	Тип параметра	Діапазон даних параметра	Коментар до параметру
1	Тип кронштейна	Повної висоти (рис.3.1-б)/ наполовину висоти (рис.3.1-а)	Кожен окремий кронштейн системи має свій вид теплової поведінки
2	Товщина стіни, мм	Від 100 до 450 і кроком 50	Використані найпоширеніші в Україні товщини стін
3	Теплопровідність матеріалу стіни $\lambda$ , Вт / (м · К)	0,2; 0,3; 0,50; 0,75; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5	Найпоширеніші матеріали, що використовуються в стінових елементах
4	Товщина теплової ізоляції, мм	від 0 до 300 з кроком 25	Використання найпоширеніших стінових теплоізолюючих матеріалів
5	Тип анкеру	Синтетичний, сталевий або анкер з хім. домішками	Використовуються три типи анкерів

Для підтримання облицювальних поверхонь у системах навісних вентилязованих фасадів застосовують два основні типи кронштейнів. Стабілізуючі кронштейни забезпечують фіксацію фасадних панелей виключно від вітрового навантаження, тоді як монтажні (несучі) кронштейни сприймають як власну масу облицювання, так і дію вітрових навантажень [10]. Найпоширенішим матеріалом для їх виготовлення є алюміній, що характеризується високою теплопровідністю, однак у практиці сучасного будівництва дедалі частіше застосовується нержавіюча сталь, яка демонструє кращу довговічність та стійкість до корозії. Крім того, як показано на рис. 3.4, сталеві кронштейни можуть бути перфорованими, що дозволяє знизити їх теплопровідність і, відповідно, інтенсивність точкових теплових містків.

Для оцінки впливу кріпильних елементів на теплотехнічні характеристики огорожувальної конструкції було проведено дослідження двох варіантів стінових матеріалів. У першому випадку несуча стіна виконувалась із залізобетону з коефіцієнтом теплопровідності  $1,7 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ , у другому — з автоклавного газобетону з теплопровідністю  $0,16 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ . У обох випадках утеплення виконувалося з мінераловатних плит.

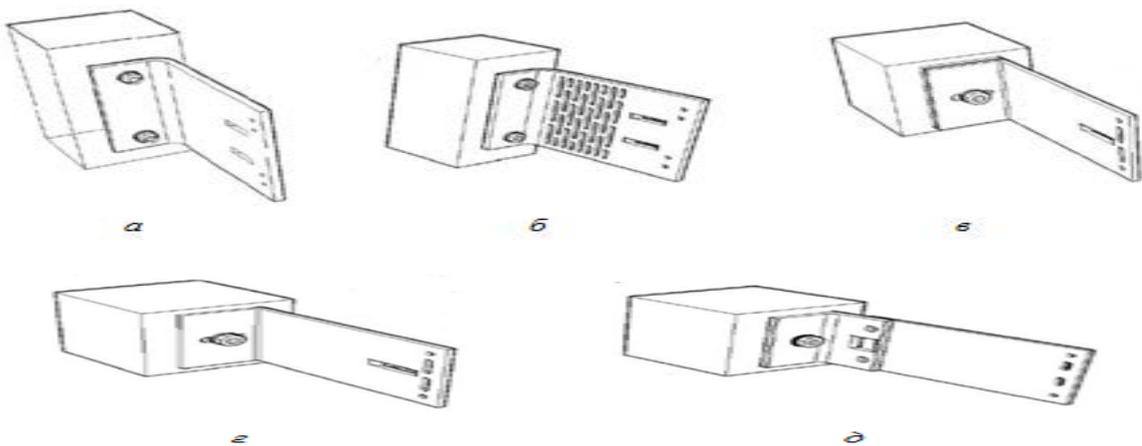


Рисунок 3.4 – Конструкції кронштейнів для монтажу вентилязованих фасадів  
*a* – алюмінієвий або нержавіючий кронштейн; *б* – перфорований кронштейн з нержавіючої сталі; *в* – алюмінієвий стабілізуючий кронштейн з термопрокладкою; *г* – алюмінієвий стабілізуючий кронштейн; *д* – стабілізуючий тепловий кронштейн з пластикового кутового кронштейна зі зміщеною алюмінієвою плоскою стійкою

Оскільки точкові теплові містки формують багатовимірний тепловий потік, стандарт [16] передбачає обов'язкове застосування двовимірних або тривимірних методів розрахунку. Це зумовлено значною різницею теплофізичних властивостей матеріалів та складністю геометрії вузлів кріплення. У даному дослідженні для моделювання застосовано метод скінченних елементів у середовищі ANSYS, що дозволяє визначити температурні поля, напрямки та інтенсивність теплових потоків, а також розрахувати ефективний коефіцієнт теплопередачі  $U$ , Вт/(м<sup>2</sup>·К) для всієї стінової системи.

Під час формування граничних умов враховувалися основні зовнішні впливи: швидкість вітру, радіаційні властивості зовнішньої поверхні, температура зовнішнього повітря, а також нормативні умови експлуатації, що забезпечило достовірність отриманих результатів.

Розрахунки теплотехнічного стану огорожувальної конструкції виконувалися за умов граничних температур: +20 °С з боку внутрішнього повітря та -10 °С з боку зовнішнього середовища. Під час моделювання були прийняті такі спрощення:

- тепловий опір за межами вентиляваного повітряного прошарку не враховувався, оскільки повітряний зазор вважався добре вентиляваним, що мінімізує вплив конвективних опорів;
- у модель включалися лише симетричні та повторювані ділянки стіни, що дозволило зменшити обсяг обчислень без втрати точності.

Для несучого кронштейна розрахунковий фрагмент стіни мав розміри 1500 × 600 мм, тоді як для стабілізуючих кронштейнів достатнім був фрагмент 800 × 600 мм, що адекватно відображає геометрію та характер теплових потоків у локальній зоні кріплення. Розрахункова сітка моделі містила близько 400 вузлів, що забезпечило необхідну деталізацію температурних полів.

Вплив точкових теплових містків оцінювався шляхом порівняння розрахованого значення коефіцієнта теплопередачі з відповідним коефіцієнтом, отриманим для одновимірної багатошарової конструкції без включень. Для

визначення величини точкової корекції теплового мосту величину теплових втрат, що припадають на один кронштейн, ділили на кількість кріплень у перерахунку на 1 м<sup>2</sup> огорожувальної конструкції.

Аналіз проводився для стін із двох типів матеріалів:

- автоклавного газобетону ( $\lambda = 0,16 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ );
- залізобетону ( $\lambda = 1,7 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ ).

Висота розрахункової стінової панелі становила 3 м, а результати визначалися на горизонтальній смузі висотою 600 мм. Для стін із газобетону несучі кронштейни передбачалося встановлювати в залізобетонну стяжну балку заввишки 200 мм, що відповідає реальним конструктивним рішенням.

Стабілізуючі кронштейни розташовувалися з кроком 800 мм по вертикалі та 600 мм по горизонталі, що відтворює типову схему їхнього монтажу в системах вентиляованих фасадів.

Геометричні параметри стабілізуючих кронштейнів, які використовувалися в розрахунковій моделі, наведено на рисунку 3.5, що дозволяє детально оцінити їх вплив на перерозподіл температурних полів і формування локальних теплових потоків.

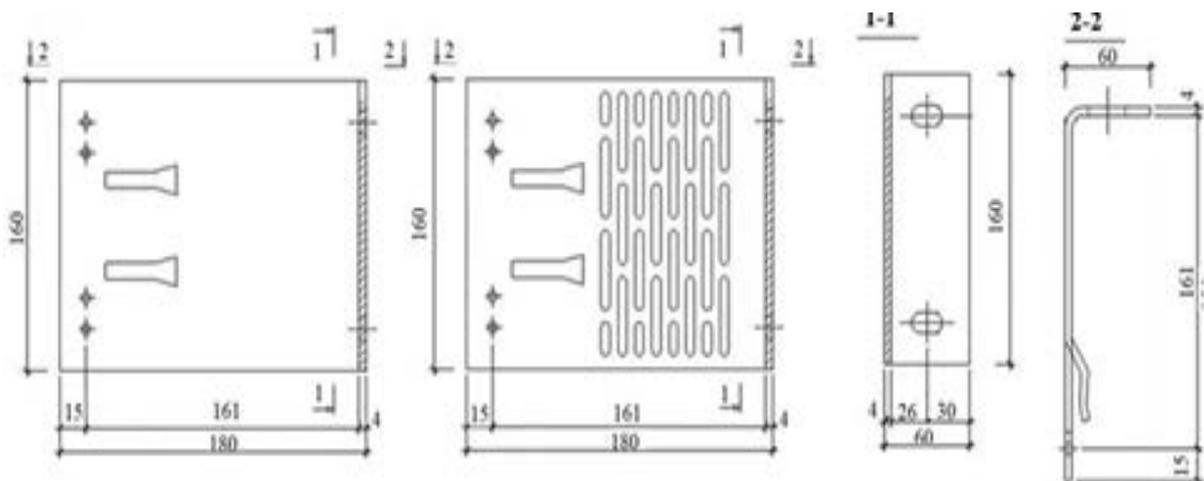


Рисунок 3.5 – Розміри аналізованих несучих кронштейнів

Для дослідження впливу стабілізуючих кронштейнів на тепловий опір зовнішньої стінової конструкції було проаналізовано декілька варіантів

кріпильних елементів, що відрізняються матеріалами та конструктивними характеристиками. Зокрема, у моделюванні розглядалися:

- алюмінієвий стабілізуючий кронштейн без термопрокладки, що є базовим варіантом і відзначається високою теплопровідністю;
- алюмінієвий кронштейн із встановленою термопрокладкою, призначеною для зниження інтенсивності точкового теплового мосту;
- кронштейн, виготовлений із полімерного матеріалу, теплопровідність якого становить  $0,30 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ , що суттєво нижче порівняно з металевими аналогами та дозволяє оцінити потенціал застосування малотеплопровідних матеріалів у системах НВФ.

Геометрія та конструктивні параметри досліджуваних кронштейнів наведені на рисунку 3.6, який ілюструє відмінності між моделями та їх взаємодію з теплоізоляційним шаром [11-14]. Аналіз зазначених варіантів дозволив оцінити, наскільки матеріал кронштейна та наявність термопрокладки впливають на формування точкових теплових містків та зниження ефективного опору теплопередачі огорожувальної конструкції.

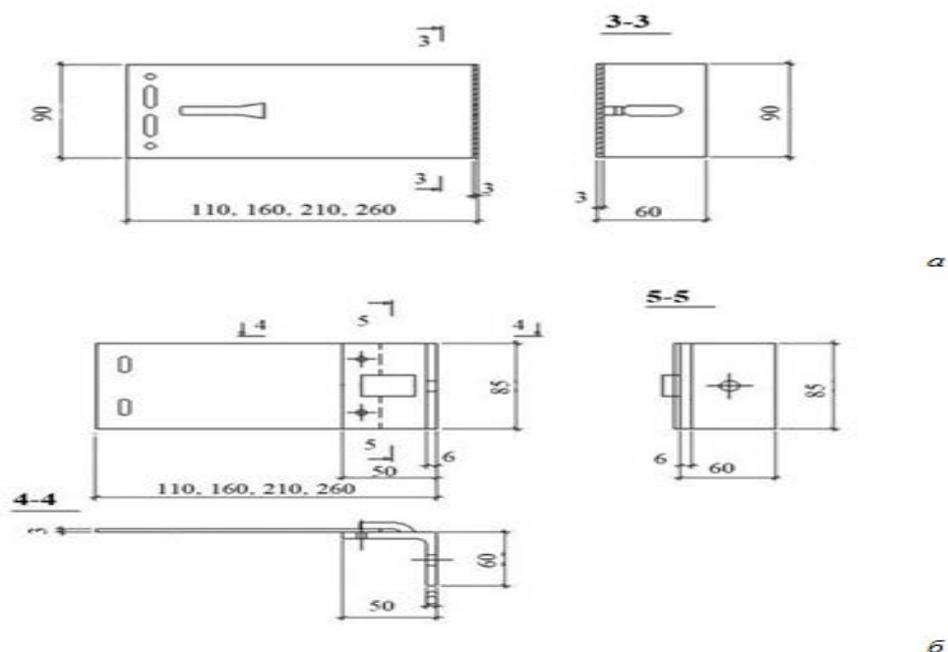


Рисунок 3.6 – Геометричні параметри алюмінієвого та комбінованого термокронштейнів

Рисунок 3.6 ілюструє геометричні параметри досліджуваних стабілізуючих кронштейнів. На першому зображенні представлено алюмінієвий кронштейн, тоді як друге зображення демонструє термокронштейн, конструкція якого передбачає використання пластикового кутового елемента зі зміщеною алюмінієвою плоскою стійкою.

Термопрокладки, виготовлені зі спіненого полівінілхлориду (ПВХ), мають товщину 5,5 мм та характеризуються низькою теплопровідністю – 0,12 Вт/(м·К), що робить їх ефективним елементом для зменшення інтенсивності точкових теплових мостів у місцях кріплення підсистеми вентилязованого фасаду. Завдяки своїм теплофізичним властивостям такі прокладки суттєво знижують тепловий потік через металеві елементи кріплення, що позитивно впливає на загальний приведений опір теплопередачі стінової конструкції.

На рисунку 3.7 наведено вертикальний переріз досліджуваної системи, який ілюструє розташування кронштейнів, теплоізоляційного шару, термопрокладок та повітряного прошарку у складі навісного вентилязованого фасаду.

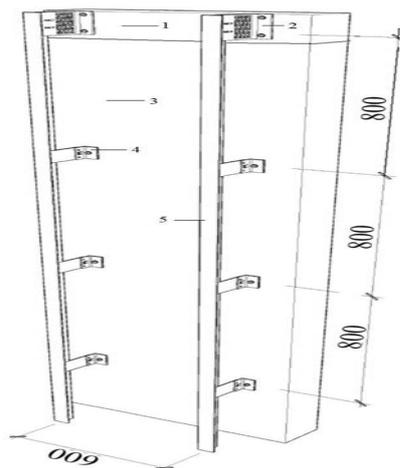


Рисунок 3.7 – Розташування опор для кріпильного каркаса для системи:

- 1 – залізобетонне перекриття; 2 – несучий кронштейн; 3 – міжповерхова стіна;  
4 – проміжний кронштейн; 5 – вертикальна конструктивна стійка

### 3.2 Аналіз впливу теплових мостів у системі навісного вентилязованого фасаду з урахуванням висоти кріпильних кронштейнів і застосування терморозривної подушки

Одним із найбільш ефективних інженерних рішень для зменшення теплових втрат у системах навісних вентилязованих фасадів є застосування термопрокладок, які встановлюються між несучою стіною та кронштейном підсистеми. Розміщення шару матеріалу з низькою теплопровідністю у зоні контакту дозволяє суттєво зменшити інтенсивність теплового потоку, що підтверджується результатами термічного аналізу (рис. 3.2). Зниження тепловтрат залежить переважно від теплопровідності матеріалу термопрокладки та його товщини, при цьому ефективність зростає пропорційно зменшенню теплопровідності та збільшенню товщини.

Однак застосування термопрокладок має конструктивні обмеження. Матеріали з дуже низькою теплопровідністю зазвичай характеризуються недостатньою механічною міцністю, що унеможлиблює їх використання у зонах кріплення, де передаються значні навантаження. Водночас матеріали з високою міцністю, як правило, мають більшу теплопровідність, що зменшує ефективність терморозриву. Тому у більшості практичних рішень оптимальним вважається матеріал із теплопровідністю приблизно  $1 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$  та товщиною не більше 6 мм [12], що забезпечує необхідний баланс між теплоефективністю та несучою здатністю.

Важливо зазначити, що термопрокладка не впливає на тепловтрати, які виникають через анкерний елемент, оскільки він проходить наскрізь через стіну й не ізолюється від холодної зовнішньої зони (рис. 3.8). У зв'язку з цим потенціал зменшення теплопровідності конструкції обмежений лише ділянкою прямого контакту кронштейна зі стіною, тоді як анкер залишається одним із каналів передачі теплового потоку.

Результати моделювання свідчать, що усунення прямого контакту алюмінієвого кронштейна зі стінкою основи спричиняє суттєве зменшення

інтенсивності теплового потоку у зоні кріплення. При введенні навіть тонкого шару матеріалу зниженої теплопровідності теплові втрати через точковий елемент помітно зменшуються, оскільки переривається шлях для швидкого перенесення тепла високопровідним металом. Як показано на рис. 3.9, тепловий потік у зоні кронштейна знижується у декілька разів, що підтверджує ефективність застосування терморозриву у вентилязованих фасадних системах.

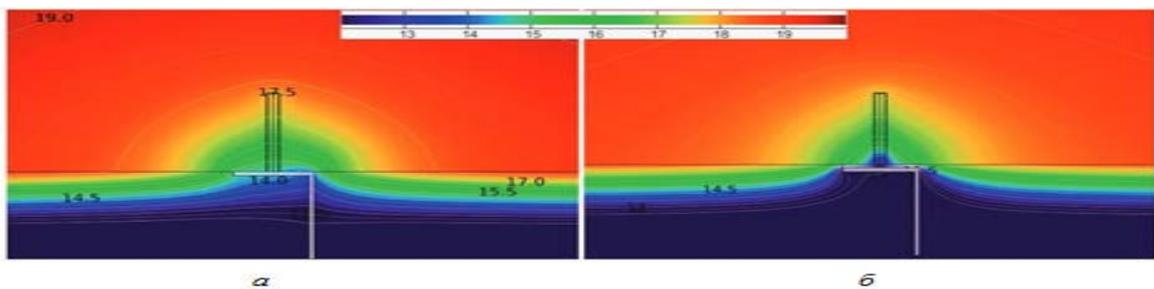


Рисунок 3.8 – Розподіл температурного поля у вигляді ізотермічних поверхонь у площині, вертикальній до анкера: а – без застосування терморозриву; б – з використанням терморозривної подушки

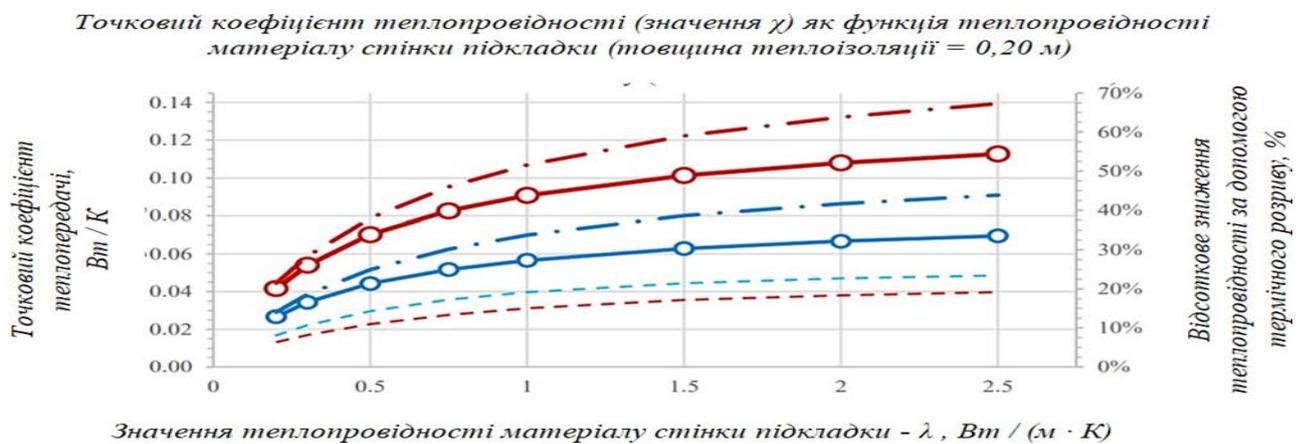


Рисунок 3.9 – Вплив теплового розриву на точковий коефіцієнт теплопередачі при різних значеннях теплопровідності стінки підкладки (для сталевго анкера)

- — кронштейн повної висоти з терморозривною подушкою;
- — кронштейн наполовину висоти з терморозривною подушкою;
- . - . — кронштейн повної висоти;
- . - . — кронштейн наполовину висоти;
- - - - — відсоткове зниження теплопровідності для кронштейна повної висоти;
- - - - — відсоткове зниження теплопровідності для кронштейна наполовину висоти

Вплив теплового розриву в системах вентиляованих фасадів є мінімальним у випадках, коли матеріал стінки підкладки характеризується низькою теплопровідністю та високим опором теплопередачі. За таких умов забезпечується ефективне відсікання інтенсивного теплового потоку від металевих кріпильних елементів, що суттєво знижує рівень тепловтрат через точкові теплові мости.

Так, у разі монтажу вентиляованого фасаду на стіну з порожнисто-глиняної цегли з коефіцієнтом теплопровідності  $\lambda \approx 0,5-0,6$  Вт/(м·К) фіксується зростання теплового потоку приблизно до 10 % для кронштейна на повну висоту (рис. 3.1, б) та до 15 % для кронштейна на половину висоти (рис. 3.1, в) за умови відсутності термопрокладки. Використання бетонної основи призводить до ще більшого зростання теплопровідності, що пояснюється значно вищими теплофізичними характеристиками бетону порівняно з цегляною кладкою.

Застосування кронштейнів на половину висоти (рис. 3.1, а) демонструє кращі теплоізоляційні властивості системи, оскільки після встановлення термопрокладки тепловий потік концентрується переважно в зоні одного сталевго анкера. Натомість у випадку використання кронштейнів на повну висоту площа сталевго теплопровідного елемента фактично збільшується вдвічі, що призводить до істотного зниження ефективності захисної підкладки та зростання тепловтрат.

Як показано на рис. 3.8, б, за наявності терморозриву тепловий потік локалізується безпосередньо в зоні анкерного з'єднання, тоді як за відсутності термопрокладки температура рівномірно розподіляється по всьому металевому елементу (рис. 3.8, а). Такий рівномірний розподіл температури сприяє інтенсифікації теплового потоку та, відповідно, збільшенню тепловтрат через огорожувальну конструкцію.

Монтаж вентиляованих фасадів на основи, виконані з матеріалів із низькою теплопровідністю, є одним із найбільш ефективних способів мінімізації впливу теплових мостів. Водночас фіксація фасадних систем до матеріалів із недостатньою механічною міцністю допускає лише обмежені навантаження. У

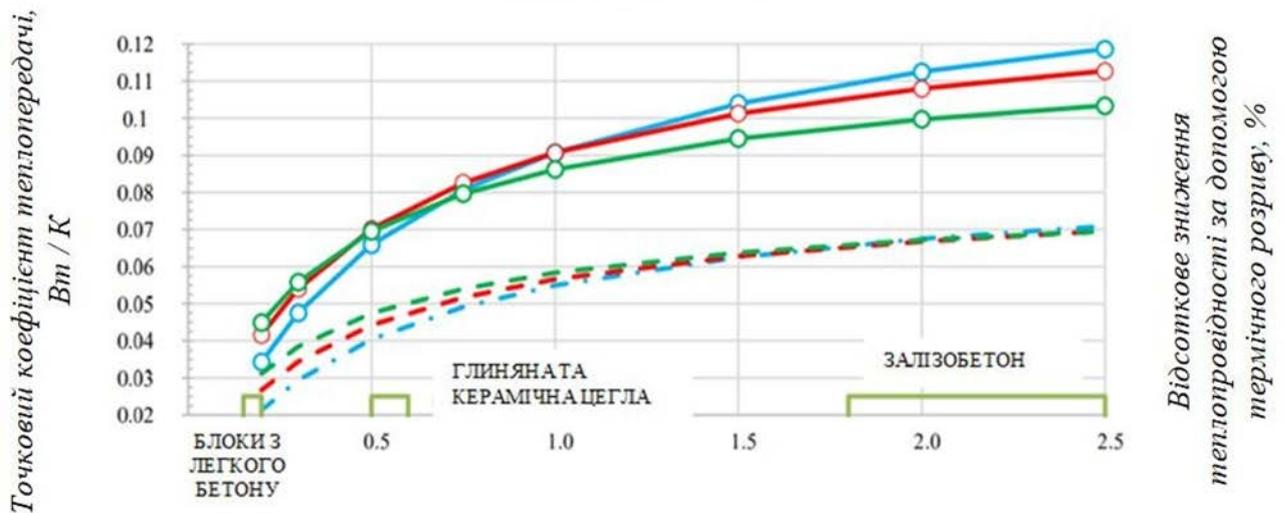
зв'язку з цим у практиці проєктування та будівництва кронштейни зазвичай закріплюють у конструктивні елементи з вищою несучою здатністю, які, як правило, характеризуються підвищеною теплопровідністю [18].

Існуючі зовнішні стіни будівель, на яких улаштовуються навісні вентилязовані фасади, можуть бути виконані з широкого спектра матеріалів — від легких конструкцій із мінімальною теплопровідністю до важких матеріалів, таких як залізобетон, який є інтенсивним провідником тепла. У межах проведеного дослідження проаналізовано вплив теплопровідності стінового матеріалу на точковий коефіцієнт теплопередачі в діапазоні  $\lambda = 0,20 \dots 2,04 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ , що охоплює найбільш поширені матеріали сучасного будівництва. Зокрема, теплопровідність легкого бетону становить близько  $0,20 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ , глиняної цегли —  $0,60 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ , тоді як залізобетону —  $1,70\text{--}2,04 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ .

Результати аналізу показали, що тип кронштейнів, кількість анкерних елементів та товщина теплоізоляційного шару майже не впливають на рівень тепловтрат у разі застосування стін із матеріалів, які мають високі теплоізоляційні властивості. У таких системах саме стінова конструкція виступає природним тепловим бар'єром між холодними металевими елементами фасаду та внутрішнім теплонасиченим об'ємом будівлі.

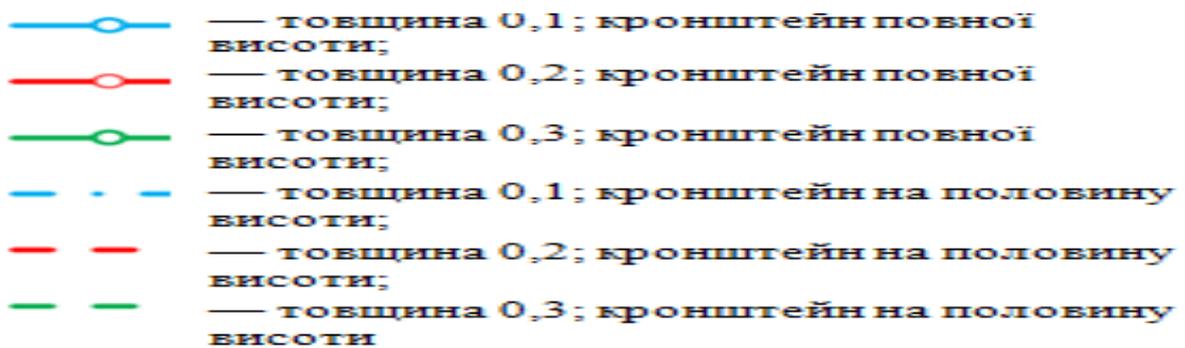
Натомість традиційні конструкційні матеріали, зокрема цегла та бетон, не забезпечують достатнього рівня теплового захисту, унаслідок чого точковий коефіцієнт теплопередачі може досягати високих значень. При цьому кронштейни на повну висоту стабільно формують більшу теплопровідну здатність порівняно з одноанкерними кронштейнами на половину висоти, що підтверджується результатами чисельного моделювання, наведеними на рис. 3.10.

Точковий коефіцієнт теплової віддачі (значення  $\chi$ ) як функція теплопровідності матеріалу стінки підкладки



Значення теплопровідності матеріалу стіни -  $\lambda$ , Вт / (м · К)

Рисунок 3.10 – Вплив значення теплопровідності матеріалу стіни на точковий коефіцієнт теплопередачі



Вентильований фасад являє собою конструкцію, у якій теплоізоляційний шар розміщується по зовнішній поверхні несучої стіни. Саме ця ознака є визначальною, оскільки теплоефективність системи напряму залежить від характеристик та якості зовнішнього утеплювального шару. Відповідно до вимог нормативних документів [18], товщина теплоізоляції повинна бути достатньою для забезпечення нормативного рівня опору теплопередачі та досягнення необхідного значення коефіцієнта теплопередачі елемента огорожувальної конструкції (U-value).

У рамках проведеного дослідження як основний теплоізоляційний матеріал була використана мінеральна вата з теплопровідністю

$\lambda = 0,035 \text{ Вт/(м·К)}$ , що відповідає класу високоефективних волокнистих утеплювачів. Обрання саме цього матеріалу зумовлене його стійкістю до вивітрювання, негорючістю, високою паропроникністю та стабільністю теплофізичних властивостей у вентилярованому прошарку. Застосування мінераловатної теплоізоляції дозволяє забезпечити необхідну енергетичну ефективність системи, зберігаючи при цьому оптимальний режим вологообміну між стіною та зовнішнім середовищем, що є принциповим для вентиляваних фасадів. Рисунок 3.11 показує результати дослідження теплопровідності.

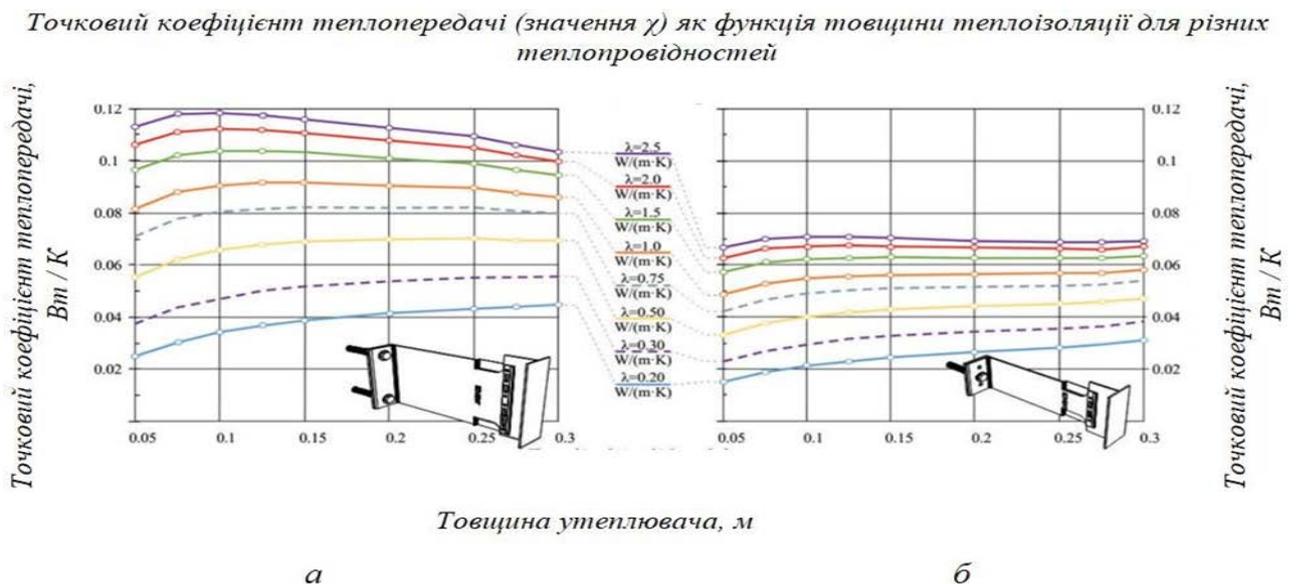


Рисунок 3.11 – Залежність точкового коефіцієнта теплопередачі від товщини мінераловатного утеплювача ( $\lambda = 0,035 \text{ Вт/(м·К)}$ ) для двох типів кронштейнів: а – повної висоти; б – зменшеної (половинної) висоти

Втрати тепла стають значними у випадках, коли конструктивні елементи каркаса вентиляваного фасаду характеризуються низькими теплоізоляційними властивостями. Особливо це проявляється при використанні кронштейнів повної висоти, оскільки вони формують протяжні теплопровідні канали між зовнішнім середовищем та внутрішнім об'ємом будівлі. За таких умов матеріали стінової конструкції, теплопровідність яких перевищує  $0,5 \text{ Вт/(м·К)}$ , практично не забезпечують належного термічного опору. У цьому випадку навіть збільшення

товщини теплоізоляційного шару дає лише незначний ефект у зменшенні загальної теплопровідності, оскільки довжина теплового потоку через кронштейн залишається домінуючим фактором (рис. 3.11, а).

При застосуванні кронштейнів на половину висоти різниця між тепловою поведінкою стінових матеріалів стає набагато меншою. Це пояснюється тим, що кількість анкерів, які проникають крізь теплоізоляцію, зменшується приблизно на 50%, що знижує інтенсивність теплових потоків через точкові теплопровідні включення. Таким чином, теплопровідність матеріалу стіни відіграє менш істотну роль, оскільки тепловий потік через систему визначається переважно опором одного кронштейна, який має меншу площу теплопередачі та більший тепловий опір порівняно з кронштейном на повну висоту (рис. 3.11, б).

Для анкерного кріплення вентилязованих фасадів можуть використовуватися сталеві або пластикові анкери, вибір яких залежить від типу основи. Хімічні анкери є ефективною альтернативою в умовах, коли несучі властивості основи невідомі або можуть погіршуватися з часом. Це пов'язано з їх здатністю забезпечувати якісне силове зчеплення при мінімальній перетині теплового потоку.

Тонка суцільна підкладка між кронштейном та основою виконує роль теплового розриву, зменшуючи прямий тепловий контакт між металевим кріпленням і стіною. Проте вона є найслабшою ланкою системи в аспекті запобігання утворення термомостів, оскільки її мала товщина (2...3 мм) обмежує ефективність теплоізоляції в зоні кріплення.

Дослідження теплопровідності різних матеріалів показує, що вибір типу анкера суттєво впливає на величину теплових втрат: теплопровідність сталевих анкерів становить близько 0,65 Вт/(м·К), тоді як пластикові анкери мають значно нижчі значення – 0,20 Вт/(м·К) та навіть 0,09 Вт/(м·К). У випадку застосування кронштейнів повної висоти та використання стінових матеріалів із високою теплопровідністю, вплив анкера на загальну інтенсивність теплового потоку зростає (рис. 3.12). Це підтверджує доцільність використання хімічних або полімерних анкерів, які здатні зменшити тепловтрати системи на ~10% у

ситуаціях, коли інші елементи конструкції не забезпечують достатньої теплоізоляції та допускають формування потужних містків холоду.

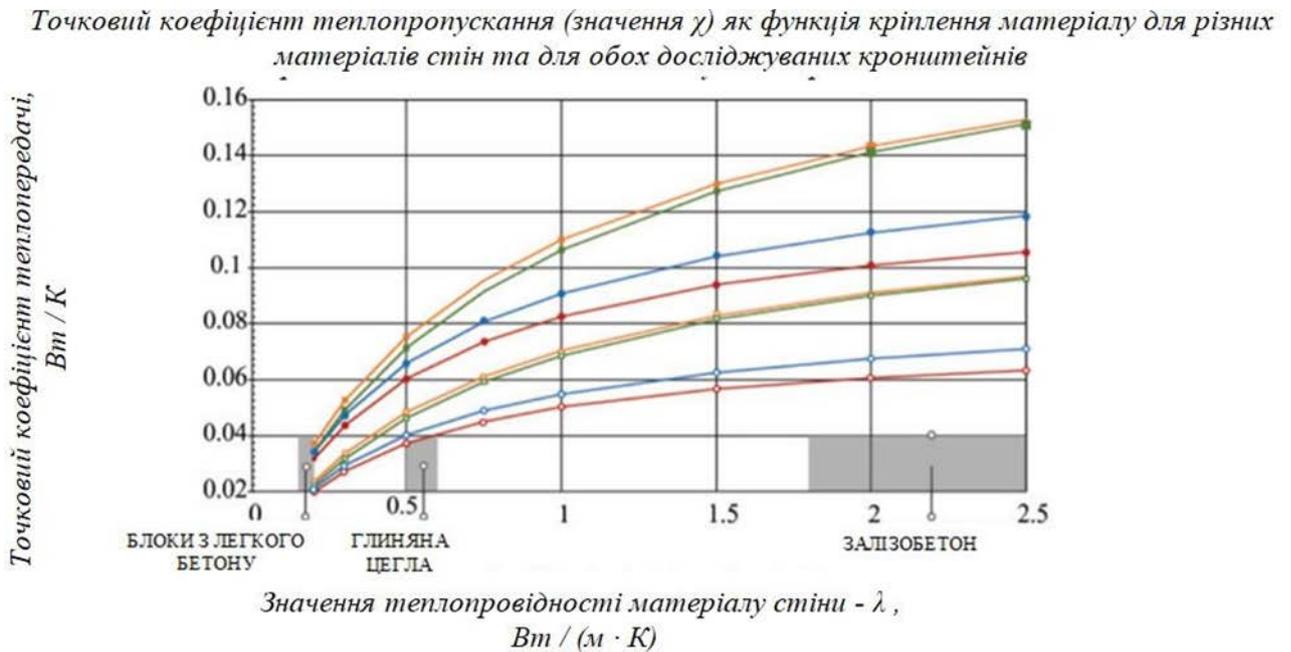


Рисунок 3.12 – Вплив товщини теплоізоляції на точковий коефіцієнт теплопередачі для різноманітної теплопровідності стінки анкеру

- — анкер з хім. домішками з терморозривною подушкою, кронштейн повної висоти;
- — анкер з хім. домішками з терморозривною подушкою, кронштейн на половину висоти;
- — анкер з хім. домішками, кронштейн повної висоти;
- — анкер з хім. домішками, кронштейн на половину висоти;
- — товщина 0,2; кронштейн на половину висоти;
- — товщина 0,3; кронштейн на половину висоти
- — сталевий анкер з терморозривною подушкою, кронштейн повної висоти;
- — сталевий анкер з терморозривною подушкою, кронштейн на половину висоти.

Порівняння розрахунків для варіантів із використанням термопрокладки та без неї показує, що різниця у значеннях коефіцієнтів теплопередачі становить у середньому від 7% до 10% залежно від товщини теплоізоляційного шару. Таке зменшення тепловтрат свідчить про певну ефективність терморозриву, однак воно залишається відносно незначним у системах, де кронштейни виготовлені з алюмінію. Висока теплопровідність алюмінію формує виражений точковий

тепловий міст, який фактично нівелює позитивний ефект від встановлення підкладки, особливо при великих довжинах металевого елемента.

Навіть за умов збільшення товщини теплоізоляційного шару до 250 мм термопрокладка не забезпечує істотного зниження тепловтрат, оскільки основним шляхом передачі тепла залишається металевий кронштейн. Теплові властивості алюмінієвого елемента перевищують ізоляційні можливості фасадної системи, що обмежує доцільність використання термопрокладок при застосуванні алюмінію як матеріалу кріпильної підсистеми.

### 3.3 Дослідження впливу термомостів на теплопровідність системи вентиляваного фасаду з урахуванням конструктивних особливостей кріпильних кронштейнів та їх матеріалів

На рис. 3.13 наведено результати теплотехнічного аналізу впливу конструктивних особливостей кронштейнів на величину точкових теплових мостів у системі вентиляваного фасаду для чотирьох варіантів товщини теплоізоляційного шару з мінеральної вати — 100, 150, 200 та 250 мм. Аналіз виконано з урахуванням різних конфігурацій кріпильних елементів та умов їх взаємодії з огорожувальною конструкцією.

Отримані результати свідчать, що для всіх розглянутих варіантів — як у випадку умовно однорідних стін без теплопровідних включень, так і при застосуванні конструкційних кронштейнів — наявність точкових теплових мостів чинить суттєвий вплив на загальний тепловий баланс огорожувальної конструкції. Навіть за збільшення товщини теплоізоляційного шару спостерігається збереження відносно високого рівня додаткових тепловтрат, зумовлених локальними металевими включеннями [3,5,9,11].

Аналіз графічних залежностей, представлених на рис. 3.13, показує, що зростання товщини мінеральної вати приводить до зменшення питомих тепловтрат через площинні ділянки стіни, однак ефект від цього зменшення частково нівелюється впливом точкових теплових мостів у місцях встановлення

кронштейнів. Таким чином, частка тепловтрат, обумовлених кріпильними елементами, зростає у відносному вираженні зі збільшенням товщини теплоізоляції.

Отримані дані підтверджують, що конструктивні особливості кронштейнів – їх геометрія, матеріал виготовлення, кількість анкерів і спосіб кріплення – є визначальними чинниками формування точкових теплових мостів і повинні враховуватися на рівні теплотехнічного розрахунку нарівні з вибором типу та товщини теплоізоляційного матеріалу. Ігнорування цього впливу може призвести до завищеної оцінки ефективності утеплення та недосягнення проектних показників енергоефективності будівлі.

Кронштейни, використані у дослідженні, мають товщину 4 мм та площу контакту зі стіною  $60 \times 160$  мм (рис. 3.5), що є типовим для систем навісних вентиляованих фасадів. Аналіз показав, що інтенсивність впливу кронштейнів суттєво залежить від теплофізичних властивостей стінового матеріалу. Зокрема, у випадку стін із високим тепловим опором, наприклад з автоклавного газобетону, зростання теплопровідності, спричинене дією точкових включень, становить у середньому 11–13%. Для стін із залізобетону, теплопровідність якого значно вища, вплив кронштейнів є менш вираженим і коливається в межах лише 3–5%.

Отже, результати, представлені на рис. 3.13, підтверджують, що конструктивні особливості кронштейнів мають тим більший теплотехнічний ефект, чим менша теплопровідність основного стінового матеріалу. Це вказує на необхідність більш ретельного проектування кріпильних підсистем при застосуванні стін із підвищеними теплоізоляційними властивостями.

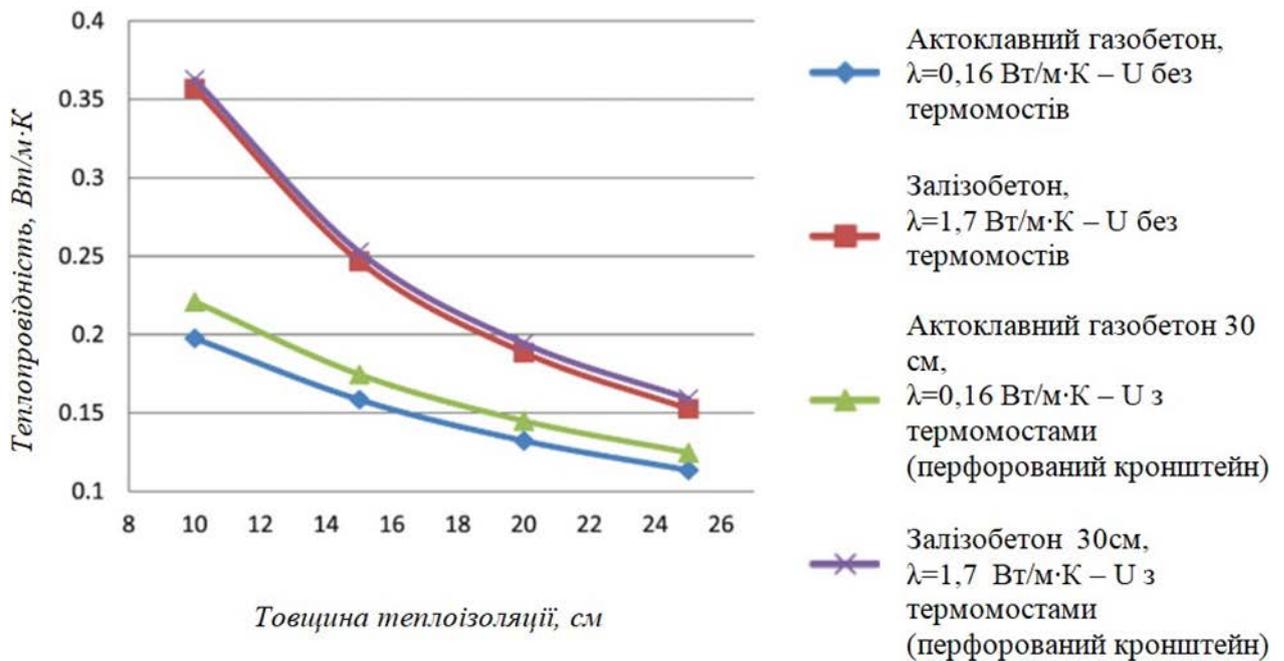


Рисунок 3.13 – Значення коефіцієнтів теплопередачі в залежності від товщини шару теплоізоляції для фасаду з урахуванням впливу додаткових теплових втрат, спричинених наявністю перфорованого кронштейна з нержавіючої сталі

У подальших етапах дослідження було розглянуто різні типи стабілізаторів для визначення впливу перфорованих конструкційних кронштейнів на теплотехнічні характеристики огорожувальної конструкції. Використання алюмінію як матеріалу для стабілізуючих кронштейнів (із теплопровідністю близько 200 Вт/(м·К)) призводить до формування інтенсивних точкових теплових мостів, що спричиняє суттєві втрати тепла через вентильовану фасадну систему.

Було встановлено, що у випадку залізобетонної підкладки підвищується температура в зоні між теплоізоляційним шаром і залізобетоном, що додатково посилює тепловий потік. Стабілізуючий кронштейн, застосований у моделюванні, має товщину 3 мм та площу контакту зі стіною  $60 \times 90$  мм. За таких умов теплопровідність огорожувальної конструкції зростає на 46–71% для залізобетонної стіни, тоді як для газобетонних стін цей показник становить лише 23–28%. Таким чином, матеріал стіни істотно впливає на масштаб втрат тепла, спричинених стабілізуючими кронштейнами.

Важливим фактором є також густина розташування кронштейнів. Для всіх проаналізованих варіантів кількість стабілізуючих кронштейнів становила 2,09 шт/м<sup>2</sup> поверхні, тоді як кількість несучих (конструкційних) кронштейнів — 0,57 шт/м<sup>2</sup>. Це пояснює більш вагомий вплив стабілізаторів на теплотехнічні показники стінової системи [7,15].

На рис. 3.14 наведено значення коефіцієнтів теплопровідності для різних типів стін у складі систем вентиляваного фасаду, а також результати порівняльного аналізу стабілізуючих кронштейнів із застосуванням термопрокладок, виготовлених з алюмінію та нержавіючої сталі. Отримані дані свідчать, що використання термопрокладки товщиною 5 мм під алюмінієві кронштейни у разі їх встановлення на залізобетонні стіни з низькою теплоємністю забезпечує зменшення тепловтрат у межах 5–10 %. Такий ефект зумовлений перериванням безперервного теплопровідного шляху між металевим кронштейном і високотеплопровідною основою стіни.

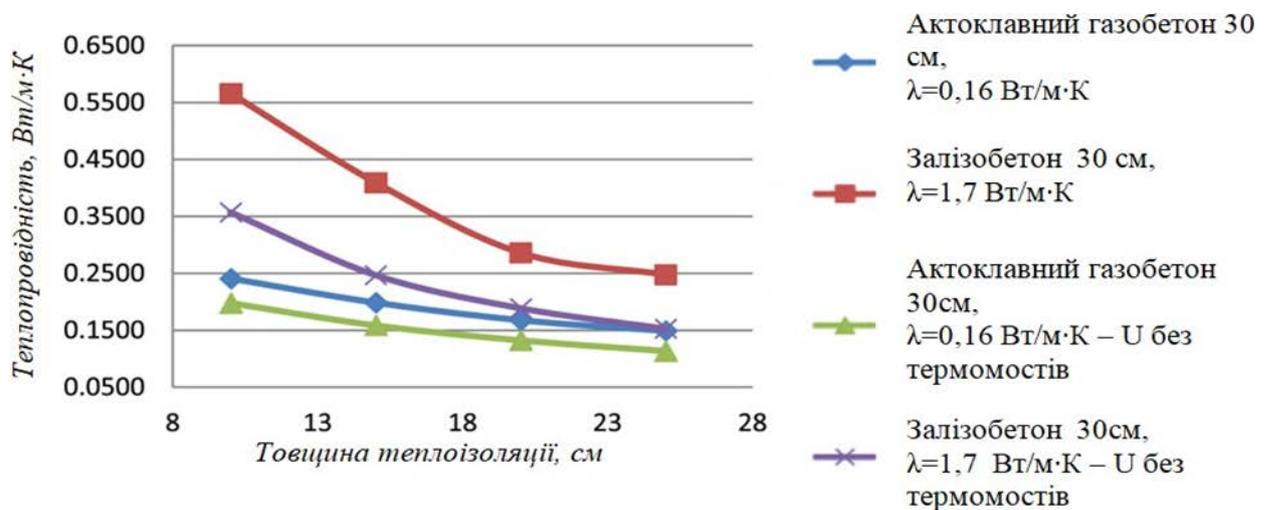


Рисунок 3.14 – Порівняльні значення коефіцієнтів теплопровідності різних типів зовнішніх стін із системами вентиляваного фасаду та кронштейнами з нержавіючої сталі й алюмінію з термопрокладками

Для стін, виконаних із газобетону, вплив застосування термопрокладок є значно менш вираженим. Це пояснюється високим власним тепловим опором газобетонних блоків, які самі по собі виконують функцію ефективного теплового

бар'єра. У таких умовах додаткове зменшення тепловтрат за рахунок терморозриву не має істотного впливу на загальний тепловий баланс огорожувальної конструкції.

На рис. 3.15 наведено результати порівняльного аналізу коефіцієнтів теплопровідності для різних типів стін у системах вентиляваного фасаду з використанням перфорованих кронштейнів із нержавіючої сталі та стабілізуючих алюмінієвих кронштейнів. Результати дослідження підтверджують, що застосування перфорації у конструкції кронштейнів у поєднанні з використанням матеріалів із нижчою теплопровідністю дозволяє істотно зменшити інтенсивність точкових теплових мостів.

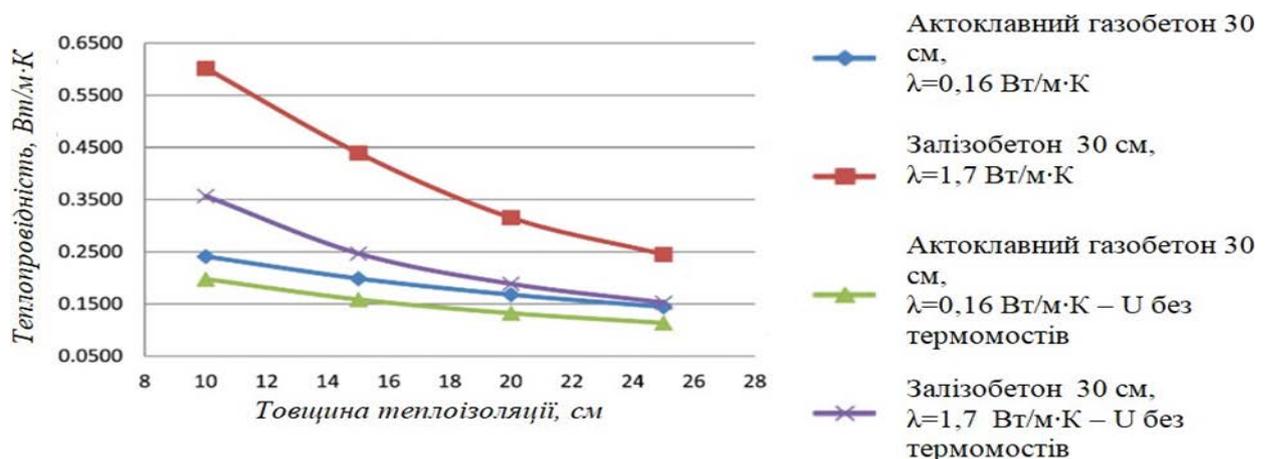


Рисунок 3.15 - Порівняльні значення коефіцієнтів теплопровідності різних типів зовнішніх стін із системами вентиляваного фасаду та кронштейнами з нержавіючої сталі й алюмінію

Перфорація зменшує ефективну площу металевого провідника тепла та подовжує шлях теплового потоку, що призводить до зниження локальної теплопередачі через кріпильні елементи. У сукупності з раціональним вибором матеріалу кронштейнів це забезпечує підвищення загальної енергоефективності системи вентиляваного фасаду та зменшення питомих тепловтрат через огорожувальні конструкції.

Отримані результати свідчать про доцільність комплексного підходу до проєктування систем кріплення вентилязованих фасадів, який передбачає одночасний урахунок типу стінового матеріалу, геометрії кронштейнів, застосування термопрокладок і використання конструктивних елементів із зниженою теплопровідністю. Такий підхід дозволяє мінімізувати негативний вплив точкових теплових мостів і забезпечити досягнення нормативних показників енергоефективності будівель.

Застосовувати пластикові елементи як складову стабілізуючих кронштейнів. Одним із таких рішень є використання Г-подібного пластикового кронштейна з коефіцієнтом теплопровідності  $\lambda = 0,30 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ . До нього кріпиться плоска алюмінієва планка, що виконує функцію елемента стабілізації. У цьому випадку високопровідний алюмінієвий елемент не контактує безпосередньо зі стіною — він віддалений від неї приблизно на 30 мм. Це забезпечує значно кращу теплову розв'язку порівняно з традиційними термопрокладками, які мають товщину лише 5 мм.

Таке конструктивне рішення помітно зменшує тепловий потік у зоні кронштейна, оскільки теплопровідний металевий елемент відокремлений шаром матеріалу з низькою теплопровідністю, що працює як ефективний тепловий бар'єр. У результаті відбувається зниження інтенсивності точкового термомосту, а вплив стабілізуючого кронштейна на кінцеве значення коефіцієнта теплопередачі стіни стає суттєво меншим.

На рис. 3.16 наведено результати порівняльного аналізу значень коефіцієнтів теплопровідності для стін із вентиляваною фасадною системою, що використовує:

- термокронштейни з пластиковими елементами;
- перфоровані кронштейни з нержавіючої сталі.

Порівняння демонструє, що застосування пластикового Г-подібного кронштейна дозволяє значно знизити теплопровідність вузла кріплення у порівнянні з традиційними металевими стабілізуючими елементами та навіть з перфорованими кронштейнами з нержавіючої сталі. Це підтверджує доцільність

використання композитних і полімерних матеріалів у ролі теплотехнічно ефективних елементів кріпильної підсистеми.

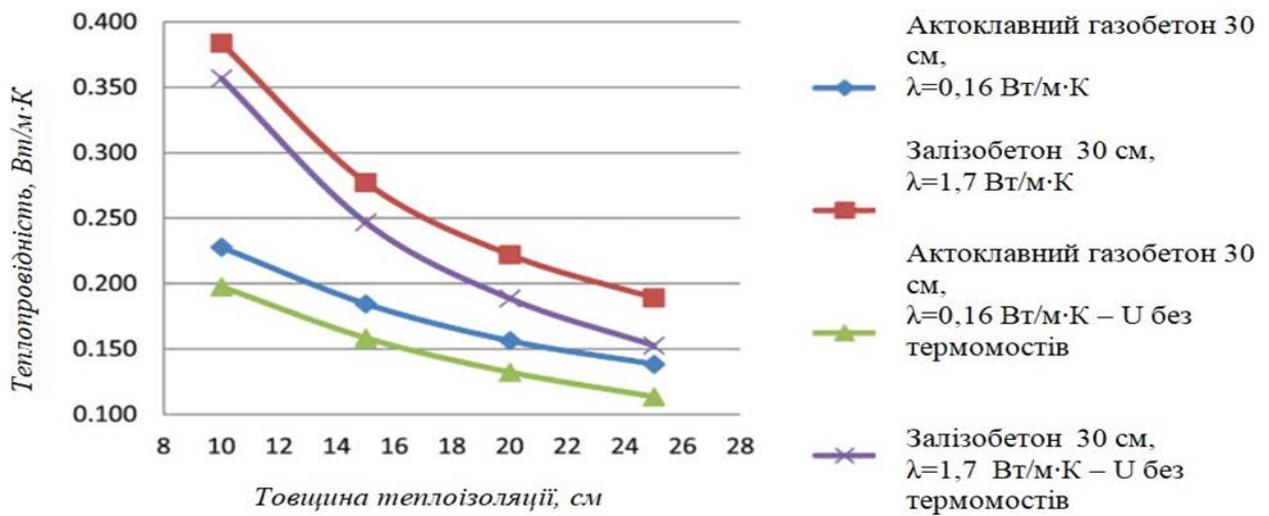


Рисунок 3.16 – Порівняльні значення коефіцієнтів теплопровідності стіни із системою навісного вентилязованого фасаду з використанням перфорованих сталевих кронштейнів з нержавіючої сталі та стабілізуючих пластикових кронштейнів (термокронштейнів)

Необхідно враховувати, що застосування перфорованих кронштейнів із нержавіючої сталі, а також термостабілізованих кронштейнів, чинить суттєвий вплив на значення коефіцієнта теплопередачі огорожувального елемента. За результатами проведених досліджень встановлено, що для стін із автоклавного газобетону приріст ефективної теплопровідності становить у середньому 14–20 %, залежно від товщини теплоізоляційного шару. Для залізобетонних стін цей вплив є ще більш вираженим і коливається в межах 7–22 %, що зумовлено вищими теплофізичними характеристиками матеріалу основи.

Підвищена теплопровідність залізобетону відіграє визначальну роль у формуванні інтенсивних теплових потоків, оскільки безпосередній контакт алюмінієвого кронштейна з залізобетонною основою створює умови для значно більш інтенсивного теплообміну порівняно з автоклавним газобетоном, який характеризується підвищеним термічним опором. Унаслідок цього локальні

теплові втрати через кріпильні елементи у випадку залізобетонних стін є істотно більшими, навіть за наявності теплоізоляційного шару значної товщини.

Проведені дослідження дозволили здійснити кількісну оцінку впливу точкових теплових мостів і підтвердили, що тепловий ефект, зумовлений наявністю кронштейнів, має суттєве значення у формуванні загальних тепловтрат огорожувальної конструкції [12]. При цьому встановлено, що збільшення товщини теплоізоляційного шару не завжди є ефективним засобом компенсації впливу точкових теплових мостів. Навпаки, зі зростанням товщини утеплювача для забезпечення необхідної просторової жорсткості та несучої здатності кронштейнів часто виникає потреба у збільшенні їх поперечного перерізу.

Збільшення поперечного перерізу кронштейнів призводить до зростання площі металевого теплопровідного елемента, що, у свою чергу, спричиняє підвищення інтенсивності теплового потоку та збільшення значення коефіцієнта теплопередачі  $U$  у порівнянні з теоретичними розрахунками, виконаними без урахування точкових включень. Таким чином, ігнорування цього чинника може призвести до завищеної оцінки ефективності теплоізоляції на стадії проектування.

У виконаних чисельних аналізах поперечні перерізи кронштейнів приймалися сталими, незалежно від товщини теплоізоляційного шару, що дало змогу об'єктивно оцінити вплив інших параметрів, зокрема матеріалу основи, типу кронштейнів і теплофізичних характеристик утеплювача. Встановлено, що застосування теплоізоляційних матеріалів із вищим коефіцієнтом теплопровідності  $\lambda$ , Вт/(м·К) практично в усіх випадках призводить до посилення точкових теплових втрат через кронштейни, а також до збільшення коригувального значення  $\Delta U$ , яке враховує вплив теплових мостів у теплотехнічному розрахунку.

Найбільш ефективним способом зниження негативного впливу точкових теплових мостів є застосування пластикових або композитних кронштейнів, а також монтаж систем вентилярованих фасадів на стінах, що характеризуються

високим опором теплопередачі. Поєднання зазначених конструктивних рішень забезпечує істотне зменшення інтенсивності теплових потоків через кріпильні елементи, сприяє зниженню питомих тепловтрат та, як наслідок, підвищує загальну енергоефективність фасадної системи і будівлі в цілому.

### Висновок за розділом 3

Вплив точкових термомостів на систему вентиляваного фасаду оцінено на основі проведених досліджень та числових аналізів, наведених у цьому розділі. Термомости, що утворюються в місцях контакту кріпильної підсистеми з зовнішньою стіною будівлі, спричиняють істотні тепловтрати огорожувальної конструкції та суттєво знижують її загальний опір теплопередачі. У ряді випадків збільшення товщини теплоізоляційного шару не лише не компенсує вплив термомостів, а й може погіршувати ситуацію: більша відстань між облицюванням і стіною призводить до збільшення деформації кронштейнів, що, у свою чергу, потребує збільшення їх поперечного перерізу. Це закономірно підвищує площу теплопровідного контакту та збільшує коефіцієнт теплопровідності всієї фасадної системи.

У проведених розрахунках поперечні перерізи кронштейнів залишалися незмінними незалежно від товщини теплоізоляції, що дозволило коректно оцінити вплив інших факторів. Використання теплоізоляційних матеріалів із підвищеною теплопровідністю  $\lambda$  (Вт/м·К) практично завжди призводить до інтенсифікації точкових теплових втрат через кронштейни та до збільшення коригувального коефіцієнта  $\Delta U$ . Таким чином, вибір теплоізоляційного матеріалу безпосередньо впливає на кінцеву теплоефективність вентиляваного фасаду.

Найефективнішим способом зменшення інтенсивності точкових термомостів є застосування пластикових або композитних кронштейнів, а також монтаж вентиляваних фасадів на стінах з високим опором теплопередачі. Поєднання цих рішень дозволяє суттєво знизити теплові потоки через кріпильні

елементи та підвищити загальну енергоефективність огорожувальної конструкції.

Для найбільш поширених типів стін оптимальні товщини теплоізоляційного шару визначаються шляхом розрахунку приведенного опору теплопередачі зовнішніх стін з урахуванням впливу кріпильного каркасу вентильованого фасаду. Після цього здійснюється техніко-економічне порівняння, зокрема визначення середньої вартості облицювальних матеріалів на 1 м<sup>2</sup> фасаду, що дозволяє встановити оптимальну конфігурацію системи з точки зору енергоефективності та економічної доцільності.

## РОЗДІЛ 4

### ТЕХНІЧНА ЧАСТИНА

#### 4.1 Архітектурно-будівельні рішення

##### 4.1.1 Результати обстеження

Земельна ділянка, на якій передбачається виконання робіт з термомодернізації багатоквартирних дев'ятиповерхових житлових будинків із вбудовано-прибудованими приміщеннями громадського призначення за адресою: м. Хмельницький, вул. Бандери, 80, розташована в північній частині міста, у межах мікрорайону «Озерна» [7].

Ділянка має прямокутну конфігурацію та загальну площу 1,2096 га. На момент обстеження на території розміщена стоянка для автомобілів та об'єкт незавершеного будівництва – двоповерхова будівля. Через ділянку проходять інженерні мережі: водопровід Ø100 мм та напірний каналізаційний колектор від мийки, розташованої з боку вул. Бандери [7].

Рельєф території характеризується наявністю помітного перепаду висот: вздовж вул. Залізняка на протяжності 125 м перепад становить близько 3 м. Територія вільна від зелених насаджень, що спрощує виконання будівельно-монтажних робіт.

Межі ділянки:

- східна сторона — дев'ятиповерховий панельний житловий будинок, територія школи, що будується, та вул. Залізняка;
- південна сторона — стоянка легкових автомобілів;
- північна сторона — двоповерхова котеджна забудова;
- західна сторона — автомобільна мийка та вул. С. Бандери.

Архітектурно-планувальна структура та етапність термомодернізації

Проектом передбачається термомодернізація 8 блок-секцій житлового комплексу, що реалізується у три черги:

- I черга — дві рядові блок-секції та одна кутова, у якій розташовані приміщення громадського призначення (4 відділи).
- II черга — аналогічно дві рядові та одна кутова блок-секція, у яких уздовж вул. Залізняка розміщено 10 відділів громадських приміщень.
- III черга — дві рядові блок-секції без вбудовано-прибудованих громадських приміщень.

Житловий фонд і площі приміщень

- Загальна кількість квартир: 292
- Загальна площа житла: 18 300 м<sup>2</sup>
- Кількість вбудовано-прибудованих приміщень: 14 відділів
- Загальна площа громадських приміщень: 980,6 м<sup>2</sup>

#### 4.1.2 Розрахунки теплової ізоляції

Розрахунок товщини теплової ізоляції зовнішніх стін. Визначаємо товщину шару теплової ізоляції зовнішніх стін, м. Хмельницький знаходиться в I-й температурній зоні України ( [2] табл. В).

Мінімально допустиме значення опору теплопередачі зовнішньої стіни (згідно з таблицею 1) становить:  $R_{q \min} = 4,0 \text{ м}^2 \times \text{К/Вт}$ .

Таблиця 4.1 - Конструкція стіни з її характеристиками

№ шару	Найменування шару	Густина $\rho_0$ , кг/м <sup>3</sup>	Товщина $\delta$ , м	Теплопровідність $\lambda$ , Вт(м x К)
1	Внутрішня штукатурка з вапняно-піщаного розчину	1800	0,015	0,93
2	Кладка цегляна з повнотілої глиняної цегли	1800	0,51 0,38	0,81
3	Мінераловатні плити	135	?	0,045
4	Розчин клею чий по склосітці	1600	0,01	0,81

Опір теплопередачі для даної чотирьохшарової конструкції визначаємо по формулі ( И.1)

$$R \Sigma = 1/\alpha_{в} + \delta_1/\lambda_1\rho + \delta_2/\lambda_2\rho + \delta_3/\lambda_3\rho + \delta_4/\lambda_4\rho + 1/\alpha_{з} .$$

Приймаючи  $R \Sigma = R_q \min$ , знаходимо товщину утеплювача

$$\delta_3 = ( R_q \min - 1/\alpha_{в} + \delta_1/\lambda_1 + \delta_2/\lambda_2 + \delta_3/\lambda_3 ) \times \lambda_3, \text{ де}$$

$\alpha_{в} = 8,7 \text{ м}^2 \times \text{К/Вт}$  - коефіцієнт тепловіддачі внутрішньої поверхні.

$\alpha_{з} = 23 \text{ м}^2 \times \text{К/Вт}$  - коефіцієнт тепловіддачі зовнішньої.

$$\text{Тоді } \delta_3 = (3,3 - 1/8,7 - 0,015/0,93 - 0,51/0,81 - 0,010/0,81) \times 0,045 = 0,10233 \text{ м.}$$

$$\text{Тоді } \delta_3 = (3,3 - 1/8,7 - 0,015/0,93 - 0,38/0,81 - 0,010/0,81) \times 0,045 = 0,10953 \text{ м}$$

Згідно з розрахунками приймаємо товщину утеплюючого шару — 120 мм.

Опір теплопередачі зовнішніх стін, з урахуванням прийнятої товщини утеплювача, становить:

$$R \Sigma = 1/8,7 + 0,015/0,93 + 0,51/0,81 + 0,12/0,045 + 0,010/0,81 + 1/23 = 3,59$$

$\text{К} \cdot \text{м}^2 / \text{Вт}$  ( цегла 510мм.)

$$R \Sigma = 1/8,7 + 0,015/0,93 + 0,38/0,81 + 0,12/0,045 + 0,010/0,81 + 1/23 = 4,179$$

$\text{К} \cdot \text{м}^2 / \text{Вт}$  ( цегла 380 мм.)

Розрахунок товщини теплової ізоляції покриття даху

Мінімально допустиме значення опору теплопередачі покриття даху ( згідно з таблицею становить:  $R_{q \min} = 6,00 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$

Таблиця 4.2 – Шари покриття даху

№ шару	Найменування шару	Густина $\rho_0$ , кг/м <sup>3</sup>	Товщина $\delta$ , м	Теплопровідність $\lambda_{ip}$ , Вт(м x К)
1	Залізобетонна плита перекриття	1450	0,22	2,04
2	Утеплювач Мінераловатний	160	?	0,05
3	Цементно-пісчана стяжка	1600	0,04	0,81

Опір теплопередачі для даної трьохшарової конструкції визначаємо по формулі ( И.1)

$$R \Sigma = 1/\alpha_{в} + \delta_1/\lambda_1 + \delta_2/\lambda_2 + \delta_3/\lambda_3 + 1/\alpha_{з} .$$

Приймаючи  $R \Sigma = R_q \min$ , знаходимо товщину утеплювача

$$\delta_3 = R_q \min \cdot (1/\alpha_{в} + \delta_1/\lambda_1 + \delta_2/\lambda_2 + \delta_3/\lambda_3) \cdot \lambda_3, \text{ де}$$

$\alpha_{в} = 8,7 \text{ м}^2 \times \text{К/Вт}$  - коефіцієнт тепловіддачі внутрішньої.

$\alpha_{з} = 23 \text{ м}^2 \times \text{К/Вт}$  - коефіцієнт тепловіддачі зовнішньої поверхні.

$$\text{Тоді } \delta_3 = (6,00 - 1/8,7 - 0,22/2,04 - 0,04/0,81 - 1/23) \times 0,05 = 0,2621 \text{ м.}$$

Згідно з розрахунками приймаємо товщину утеплюючого шару — 300 мм.

Опір теплопередачі покриття даху, з урахуванням прийнятої товщини утеплювача, становить

$$R \Sigma = 1/8,7 + 0,22/2,04 + 0,3/0,05 + 0,04/0,81 + 1/23 = 6,758 \text{ К} \cdot \text{м}^2 / \text{Вт}$$

Умова ( 1 )  $R \Sigma > R_q \min$ , виконується.

Будівля запроєктована з внутрішніми та зовнішніми несучими поздовжніми стінами, виконаними зі звичайної повнотілої цегли. Фундаменти прийняті пильові з використанням пиль перерізом 300×300 мм. Під несучі стіни влаштовані монолітні залізобетонні ростверки стрічкового типу з бетону класу С12/15, армовані арматурою класів А500С та А240С. Стіни підвальної частини виконані зі збірних бетонних блоків.

Надземна частина будівлі зведена зі звичайної повнотілої цегли на цементно-піщаному розчині, марка цегли та розчину наведені у відповідному архітектурно-будівельному розділі проекту. Перемички над віконними та дверними прорізами запроєктовані зі збірного залізобетону. Перекриття будівлі виконані зі збірних залізобетонних плит. Сходові марші та сходові площадки також передбачені зі збірних залізобетонних елементів.

Вікна та балконні двері виконані з металопластикових конструкцій індивідуального виготовлення відповідно до запроєктованих прорізів. Двері у технічні приміщення передбачені протипожежні, сертифіковані, у квартири – вхідні броньовані. Покриття підлог у будівлі виконуються з

керамічної плитки, бетонних підлог та лінолеуму залежно від функціонального призначення приміщень.

Прибудовані частини магазинів мають окремі конструктивні рішення. Фундаменти влаштовані стовпчасті монолітні залізобетонні з бетону класу C16/20, армовані арматурою класів A500C та A240C. Каркас прибудованих частин, що включає пілони та плити перекриття, виконаний з монолітного залізобетону класу C18/22,5 з аналогічним армуванням. Зовнішні стіни надземної частини прибудов виконані з ніздрюватих газоблоків товщиною 250 мм. Віконні та дверні заповнення – металопластикові, індивідуального виготовлення, підлоги – з керамічної плитки [10].

Зовнішні стіни житлового будинку утеплюються, оштукатурюються по армувальній сітці та фарбуються мінеральною водостійкою фасадною фарбою у два кольори – TRIORA 6033 P та TRIORA 143 A. Цокольна частина будівлі оштукатурюється цементно-піщаним розчином і фарбується. Накриття балконів передбачене з металочерепиці червоного кольору RAL 8007.

## 4.2 Технологічні рішення

### 4.2.1 Галузь застосування

Дана технологічна карта розроблена для виконання робіт з монтажу навісного вентиляованого фасаду з облицюванням HPL-панелями Crown із застосуванням підсистеми KMD VF. Технологічна карта призначена для використання під час будівництва нових будівель і споруд, а також при реконструкції та капітальному ремонті існуючих об'єктів різного функціонального призначення. Вона застосовується при виконанні зовнішніх облицювальних робіт і визначає порядок їх організації, технологію монтажу та вимоги до якості виконання [20].

У змісті технологічної карти наведено основні вимоги до облицювальних матеріалів, елементів підсистеми та кріплень, описано послідовність і технологію виконання монтажних операцій, сортамент профілів, типові вузлові

рішення, а також наведено організаційно-технологічні рішення щодо виконання робіт із забезпеченням необхідного рівня якості, техніки безпеки та охорони праці. В організаційно-технологічній частині карти визначено порядок організації робіт, наведено перелік технологічного комплексу обладнання, засобів механізації, ручного та механізованого інструменту, пристосувань і інвентарю, а також подано характеристики та схеми кріплення облицювання до підсистеми і підсистеми до основи.

Застосування даної технологічної карти можливе лише за умови її обов'язкової прив'язки до конкретного робочого проєкту та умов конкретного об'єкта будівництва, на якому виконуються роботи з монтажу навісного вентиляованого фасаду. При цьому необхідно узгодити прийняті у карті технологічні рішення з представниками замовника або генеральної підрядної організації, а також адаптувати їх до фактично використовуваних засобів механізації, ручного й механізованого інструменту, пристосувань та інвентарю, з урахуванням конкретних умов праці на будівельному майданчику [21].

Організація та виконання робіт, передбачених цією технологічною картою при будівництві, реконструкції та ремонті об'єктів на території України, повинні здійснюватися з обов'язковим дотриманням вимог чинних нормативних документів, інструкцій і правил з улаштування та оздоблення фасадів будівель і споруд, а також вимог з техніки безпеки та охорони праці.

До складу робіт, що розглядаються в даній технологічній карті, входять операції з розмітки та встановлення кронштейнів, монтажу теплоізоляційного шару, встановлення та вивірення напрямних у проєктному положенні, а також монтаж елементів облицювання з HPL-панелей. Технологічна карта може бути застосована для об'єктів будь-якої складності та призначення з урахуванням конкретних умов будівництва, допустимої поверховості та конструктивних особливостей будівлі.

У процесі виконання монтажних робіт необхідно суворо дотримуватися вимог техніки безпеки та охорони праці відповідно до чинних нормативних документів, що діють на території України.

#### 4.2.2 Загальні положення

Навісні вентилязовані фасади призначені для утеплення та облицювання зовнішніх огороджувальних конструкцій під час будівництва нових будівель і споруд, а також при реконструкції та капітальному ремонті існуючих об'єктів різного функціонального призначення. Застосування таких систем забезпечує підвищення енергоефективності будівель, поліпшення експлуатаційних характеристик огороджувальних конструкцій та формування сучасного архітектурного вигляду фасадів.

Системи KMD VF являють собою багатошарові фасадні конструкції, до складу яких входить несучий металевий каркас із алюмінієвого сплаву (підсистема кріплення), закріплений до основи — несучих конструкцій зовнішніх стін будівлі, теплоізоляційний шар та фасадний облицювальний шар, який кріпиться до елементів несучого каркаса. Між теплоізоляційним шаром і облицюванням улаштовується вентиляований повітряний прошарок, що забезпечує безперервну циркуляцію повітря та ефективно видалення вологи, яка може накопичуватися в утеплювачі в процесі експлуатації. За окремих архітектурних або функціональних рішень допускається застосування системи без теплоізоляційного шару.

Система кріплення KMD VF складається з комплексу окремих деталей та збірних одиниць, які за функціональним призначенням поділяються на кілька основних груп. До основних деталей належать кронштейни, несучі стійки та подовжувачі кронштейнів, що забезпечують передачу навантажень від облицювального шару на несучі конструкції будівлі. До облицювальних елементів відносяться заклепки, аграфні профілі та анкерні заклепки, які застосовуються для фіксації фасадних панелей. Другорядні деталі представлені елементами терморозриву та допоміжними профілями, що зменшують утворення теплових містків і забезпечують коректну роботу системи в цілому. Для закріплення кронштейнів та теплоізоляційного шару використовуються анкери та фасадні дюбелі, а для монтажу елементів підсистеми застосовуються болти, гайки, шайби, гвинти, витяжні заклепки та саморізи.

Базові деталі та несучі елементи системи кріплення виготовляються з алюмінієвого сплаву АД31Т1 відповідно до [20], який проходить термічну обробку з метою досягнення необхідної твердості, міцності та корозійної стійкості.

У складі системи KMD VF застосовуються кронштейни трьох основних типів: несучі, опорні та універсальні. Вибір типу кронштейна визначається конструктивними особливостями фасаду, розрахунковими навантаженнями та схемою розташування облицювальних елементів.

Фіксація облицювальних панелей до підсистеми може виконуватися трьома основними способами: шляхом відкритого кріплення на заклепки, за допомогою клейової системи або із застосуванням прихованого кріплення типу TUF-S на аграфіах. Конкретний спосіб кріплення визначається проектними рішеннями, типом облицювального матеріалу, архітектурними вимогами та умовами експлуатації фасаду.

#### 4.2.3 Організація і технологія виконання робіт

Монтаж навісного вентиляованого фасаду системи KMD VF здійснюється після повного завершення основних загальнобудівельних робіт та належної підготовки об'єкта. До початку фасадних робіт повинні бути завершені всі роботи з улаштування монолітних конструкцій будівлі, виконано влаштування покрівлі, лоджій, балконів, їх огорожень, козирків, карнизів, а також змонтовані пожежні сходи, закладні деталі та елементи для кріплення зовнішніх інженерних мереж і обладнання (зокрема кондиціонерів).

Перед початком монтажу проводиться обстеження стану зовнішніх стін будівлі з метою перевірки їх вертикальності, рівності поверхні, стану укосів, а також відповідності фактичних геометричних розмірів віконних і дверних прорізів проектним. Поверхня стін повинна бути очищена від нестійких і незв'язаних шарів — залишків штукатурки, фарби, бруду та інших елементів, що можуть перешкоджати надійному кріпленню підсистеми. Додатково виконуються роботи з посилення або переустановлення рогаців для водостічних

труб, скоб для підвіски мереж зовнішнього освітлення та інших елементів, пов'язаних із фасадною системою.

До початку монтажних робіт матеріали та комплектуючі системи KMD VF повинні бути заготовлені й розміщені безпосередньо в зоні виконання робіт з дотриманням вимог зберігання. Монтажні підмости, риштування або будівельні люльки необхідно встановити відповідно до проекту виконання робіт (ППР) та перевірити їхню надійність і міцність. У межах небезпечної зони роботи люлек встановлюється інвентарна огорожа з попереджувальними знаками відповідно до вимог чинних ДСТУ [22]. Робочі місця забезпечуються необхідним освітленням, електроживленням, побутовими приміщеннями та окремим електричним щитом для підключення монтажних люлек і електроінструменту.

Виконання робіт з монтажу фасадної системи не допускається за відсутності затвердженого та погодженого комплексу проектної документації, а також у випадках, коли паралельно виконуються суміжні роботи іншими організаціями в межах небезпечної зони над або під монтажною люлькою. Забороняється виконання фасадних робіт під час дощу, снігопаду, густого туману, при швидкості вітру понад 10 м/с, а також при температурі зовнішнього повітря нижче мінус 25 °С. Не допускається підйом робітників на будівельній люльці без попередньої перевірки її технічного стану та надійності кріплення консолей. Усі члени монтажної бригади повинні пройти обов'язковий інструктаж з охорони праці та техніки безпеки.

Роботи з монтажу навісного вентиляованого фасаду мають виконуватися спеціалізованими організаціями, персонал яких пройшов відповідне навчання та має дозвіл (ліцензію) на виконання робіт даного виду. Усі етапи монтажу здійснюються під постійним контролем відповідальної особи за безпечне виробництво робіт.

У процесі виконання монтажних робіт забороняється залишати закріплений на стіні утеплювач без вітрогідрозахисної мембрани, якщо інше не передбачено проектом, а також виконувати кріплення будь-яких елементів, не

передбачених проектною документацією, безпосередньо до фасадного облицювання. Відхилення від проектних технічних рішень допускається виключно після погодження з автором проекту або відповідальним виконробом.

Безпосередньо перед початком монтажу виконавці повинні пройти інструктаж щодо технології виконання робіт, отримати від проектної організації комплект робочої документації на захватку та ознайомитися з монтажними схемами і вузловими рішеннями. Також перевіряється наявність і справність засобів індивідуального захисту, страхувальних канатів, електричного, слюсарного та допоміжного інструменту. Геодезична служба об'єкта передає монтажній бригаді розбивочні осі для встановлення кронштейнів та визначає рівень старту монтажу фасадної системи.

Монтаж навісного вентиляованого фасаду дозволяється виконувати з використанням електричних будівельних люлек, підмосток, пересувних веж-тур або будівельних риштувань. Конкретні місця розташування, точки установки, підключення та кріплення монтажних пристосувань повинні бути визначені та обґрунтовані в проекті виконання робіт (ППР).

#### 4.2.4 Монтаж кронштейнів

Монтаж кронштейнів навісного вентиляованого фасаду виконується після завершення геодезичної розмітки фасаду та визначення стартових і базових осей згідно з робочою документацією. Перед початком робіт виконується розмітка місць свердління отворів під установлення анкерних кріпильних елементів із дотриманням проектних відстаней і допустимих відхилень. Стартові точки прив'язки для розмітки кронштейнів приймаються відповідно до робочих креслень і можуть визначатися від будівельних осей, віконних або дверних прорізів, інших конструктивних елементів будівлі, а також від висотних відміток по вертикалі [23].

Для кріплення кронштейнів застосовуються три основні типи анкерних виробів залежно від виду основи та характеру навантажень. Фасадні дюбелі використовуються для кріплення вітрових або універсальних кронштейнів, що

сприймають лише вітрове навантаження, і призначені для монтажу в цегляні, газобетонні, пінобетонні, ракушнякові та інші пористі або пустотілі матеріали. Механічні анкери розпірного типу застосовуються для кріплення несучих або універсальних кронштейнів, які передають як вертикальні, так і вітрові навантаження. Хімічні анкери є універсальним видом кріплення та застосовуються в усіх типах основ у випадках, коли використання фасадних дюбелів або механічних анкерів є неможливим або недоцільним. Хімічні анкери допускається застосовувати як у несучих, так і у вітрових вузлах.

Перед застосуванням анкерного кріплення будь-якого типу необхідно обов'язково ознайомитися з рекомендаціями виробника. Відповідно до вимог [24] анкерна техніка повинна виготовлятися з нержавіючої сталі марки 25Х13Н2 або мати гарячецинкове покриття товщиною не менше 45 мкм. Допустимі відхилення положення кронштейнів від проектних значень по вертикалі становлять  $\pm 50$  мм або, за погодженням з головним конструктором проекту, не більше висоти одного елемента заповнення кладки. По горизонталі відхилення не повинні перевищувати  $\pm 10$  мм, при цьому граничні значення визначаються проектом з урахуванням ширини опорної площини вертикальних напрямних та способу фіксації облицювальних плит.

Крок розташування кронштейнів по горизонталі та вертикалі визначається проектною документацією з урахуванням розмірів облицювальних плит, величини вертикальних швів і прийнятої розкладки фасаду. Після завершення розмітки виконують буріння отворів у будівельній основі. Свердління здійснюється механізованим інструментом обертальної дії. У міцних повнотілих основах, таких як монолітний бетон, бетонні блоки та повнотіла цегла, застосовується перфоратор з ударною дією і свердлом з твердосплавним наконечником. У пустотілих, щілинних або пористих матеріалах свердління виконується дрилем без ударного режиму, оскільки застосування перфоратора може призвести до руйнування структури матеріалу та збільшення діаметра отвору.

Діаметр свердла повинен відповідати діаметру анкерного кріплення, за винятком випадків застосування пластикових фасадних дюбелів у газобетоні або інших пористих матеріалах, де отвір виконується на 1 мм меншим за зовнішній діаметр дюбеля. Напрямок свердління повинен бути строго перпендикулярним до площини стіни, а глибина отвору має перевищувати розрахункову глибину анкерування не менше ніж на 5–10 мм. Після свердління отвори обов'язково очищаються від пилу шляхом продування стислим повітрям.

У разі помилкового свердління нового отвору його слід виконувати на відстані не менше однієї глибини помилкового отвору. Забороняється встановлення фасадних дюбелів у шви кладки. Мінімальна відстань від центра дюбеля до горизонтального шва повинна становити не менше 25 мм, а до вертикального – не менше 60 мм.

При встановленні фасадних дюбелів поліамідна гільза повинна входити в отвір щільно та без можливості прокручування. Пошкодження або деформація гільзи не допускаються. У разі необхідності посадки гільзи ударами забивання виконується плавно, без надмірного зусилля. Кронштейн у всіх випадках фіксується до стіни виключно через терморозрив; монтаж кронштейна без термопрокладки забороняється.

Установлення хімічних анкерів виконується суворо відповідно до технологічних карт і рекомендацій виробника анкерної системи з дотриманням режимів очищення отворів, дозування складу та часу твердіння.

Монтаж кронштейнів здійснюється у визначеній послідовності. Спочатку встановлюються несучі кронштейни на плитах перекриття, починаючи з крайніх, після чого за допомогою натягнутої осі або лазерного рівня формується загальна лінія розташування. Далі, відповідно до проектного кроку, встановлюються наступні кронштейни з допустимими відхиленнями. Аналогічні дії виконуються на плитах перекриття верхніх і нижніх поверхів. Після цього за допомогою відвісу або лазерного рівня формуються вертикальні осі для опорних (вітрових) кронштейнів. Кількість рядів і вертикальний крок між ними визначаються проектною документацією. За необхідності встановлюються додаткові

привіконні або підсилюючі кронштейни, зокрема у кутових зонах будівлі, що повинно бути передбачено проектом.

Під час виконання робіт забороняється застосування анкерного кріплення, не призначеного для конкретного типу основи, монтаж кронштейнів на непідготовлену або пошкоджену поверхню, установка без терморозриву, відступ від краю основи по горизонталі менше 100 мм, а також використання анкерів без підтвердження їх несучої здатності натурними випробуваннями. Не допускається неповне або нещільне прилягання опорної площини кронштейна до основи, підрізування кронштейнів, що зменшує їх несучу здатність, використання анкерних елементів різних виробників в одному вузлі або повторне застосування демонтованих анкерів. Подовження виносу кронштейнів дозволяється виконувати виключно із застосуванням спеціальних подовжувачів, передбачених системою, та за погодженням з головним конструктором проекту.

#### 4.2.5 Монтаж протипожежних екранів

Монтаж протипожежних екранів у системі навісного вентилязованого фасаду виконується з метою обмеження поширення полум'я та продуктів горіння у вентиляваному повітряному прошарку фасадної конструкції, а також для підвищення рівня пожежної безпеки будівлі в цілому. Влаштування протипожежних елементів здійснюється відповідно до вимог чинних нормативних документів, зокрема пункту 6.6.1 [24].

Згідно з зазначеними вимогами, при застосуванні конструкцій із фасадною теплоізоляцією та опорядженням індустріальними або світлопрозорими елементами, під опоряджувальним шаром по всьому периметру віконних і дверних прорізів фасаду необхідно передбачати встановлення захисних козирків-екранів. Дані елементи виконуються з оцинкованої сталі товщиною не менше ніж 0,50 мм або з інших негорючих матеріалів, що відповідають вимогам пожежної безпеки.

Протипожежні козирки-екрани встановлюються перпендикулярно до основної площини фасаду та розміщуються на відстані не менше ніж 70 мм від

відповідного укосу віконного або дверного прорізу. Довжина та ширина екранів повинні забезпечувати перекриття всієї ширини вентиляваного повітряного прошарку фасадної системи, унеможливаючи вертикальне поширення вогню та гарячих газів у межах фасадної конструкції.

Монтаж протипожежних екранів виконується після встановлення кронштейнів підсистеми та до монтажу облицювальних елементів фасаду. Кріплення екранів до несучих елементів фасадної підсистеми повинно забезпечувати їхню жорстку фіксацію, геометричну стабільність і збереження проектного положення протягом усього терміну експлуатації. Усі з'єднання виконуються з використанням негорючих матеріалів та кріпильних елементів, сумісних з фасадною системою.

Влаштування протипожежних екранів є обов'язковим конструктивним заходом при улаштуванні навісних вентиляваних фасадів та повинно виконуватися строго відповідно до проектної документації і вимог нормативних документів з пожежної безпеки.

#### 4.2.6 Монтаж утеплювача

Монтаж теплоізоляційного шару у системі навісного вентиляваного фасаду виконується шляхом кріплення теплоізоляційних плит до зовнішніх огорожувальних конструкцій будівлі в один або два шари відповідно до проектної документації. З метою запобігання наднормативному зволоженню утеплювача під час виконання монтажних робіт в умовах впливу атмосферних опадів рекомендується обмежувати площу захватки. Установка теплоізоляційних плит повинна здійснюватися на такій площі фасаду, на якій протягом двох–трьох робочих днів може бути повністю змонтований відповідний фрагмент фасадної системи з подальшим улаштуванням вітрозахисного шару та облицювання.

Відповідно до вимог [22] (п. 5.2.13), дюбелі для кріплення теплоізоляційних плит повинні витримувати відривні зусилля зі стіни не менше ніж 40 кгс для цегляних основ, 50 кгс для бетонів класу не вище В15 та

природного каменю, а також не менше 25 кгс для пористих бетонів, зокрема газоблоків. Згідно з п. 5.2.2.12 цього ж стандарту, дюбелі повинні виготовлятися з поліпропілену з розпірним елементом зі склонаповненого поліаміду або зі сталі з гарячецинкованим покриттям товщиною не менше 45 мкм. Діаметр притискної тарілчастої головки дюбеля повинен становити не менше 80 мм, що забезпечує рівномірний розподіл навантаження на поверхню теплоізоляційної плити.

Тип теплоізоляційного матеріалу, конструкція кріпильних елементів та застосування вітрозахисної мембрани визначаються проектною документацією з урахуванням вимог пожежної безпеки та енергоефективності. Відповідно до [22] (п. 5.2.2.7), теплоізоляційні плити, що застосовуються у системах навісних вентиляованих фасадів, повинні належати до групи негорючих матеріалів (НГ). Для двошарових систем утеплення зовнішній шар утеплювача повинен мати щільність не менше  $75 \text{ кг/м}^3$ , тоді як для внутрішнього шару допускається застосування теплоізоляційних матеріалів груп горючості Г1 або Г2 з щільністю не менше  $30 \text{ кг/м}^3$ .

Допускається також застосування зовнішнього шару теплоізоляції класів горючості Г1 або Г2 за умови, що це не суперечить вимогам ДБН В.2.6-33 (чинним на момент проектування), зокрема положенням таблиці 1 та конструктивній схемі збірної фасадної системи типу «В». Усі роботи з монтажу утеплювача повинні виконуватися з дотриманням проектних рішень, технологічної послідовності та вимог чинних нормативних документів.

При наявності встановлених віконних і дверних обрамлень монтаж теплоізоляційних плит виконується впритул до елементів обрамлення без утворення зазорів, що забезпечує безперервність теплоізоляційного контуру. У разі відсутності обрамлень утеплювач необхідно укладати з припуском не менше 50 мм у глибину віконного або дверного прорізу з подальшою підрізкою після встановлення обрамлювальних елементів. Допускається також варіант монтажу теплоізоляції по периметру віконного отвору на відстані до 200 мм від укосів з подальшою установкою добірних вставок з утеплювача, при цьому кожна

вставка повинна бути додатково закріплена не менше ніж двома тарільчастими дюбелями.

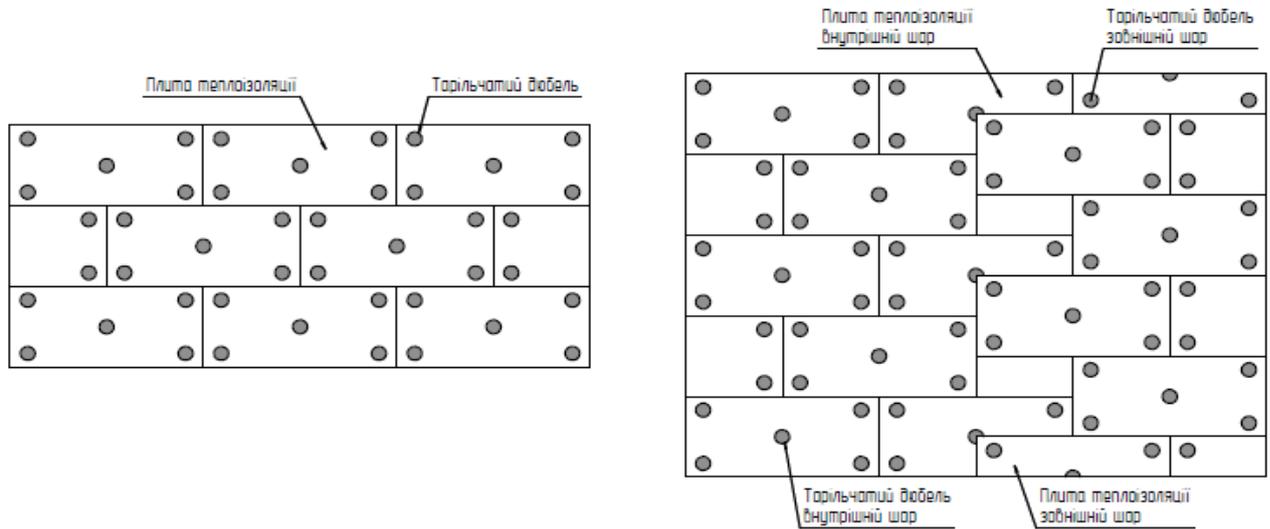


Рисунок 4.1 – Схема установки плит для однашарового утеплення

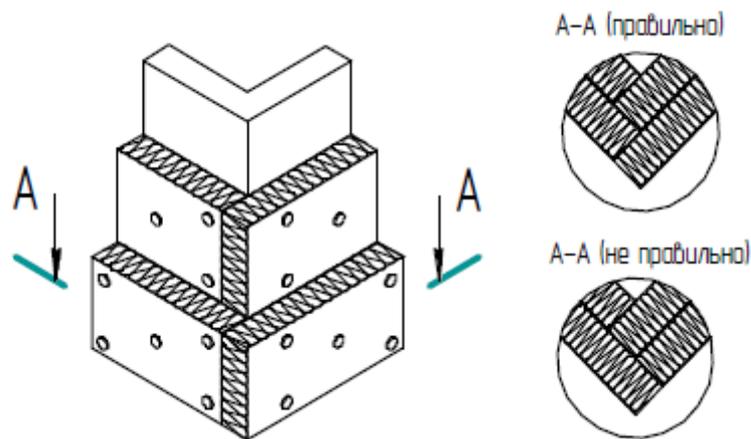


Рисунок 4.2 – Схеми укладання плит утеплювача на кут будівлі. Двошарове утеплення

Добірні теплоізоляційні плити мають бути надійно зафіксовані до поверхні стіни з дотриманням загальних вимог до кріплення утеплювача. Для їх установки плити підрізаються виключно ручним інструментом, що забезпечує рівний і точний зріз. Ламання теплоізоляційних плит забороняється, оскільки це

призводить до порушення структури матеріалу та погіршення його теплоізоляційних властивостей.

Місця проходження кронштейнів крізь теплоізоляційний шар рекомендується виконувати способом пробивання, при якому торець кронштейна прорізає утеплювач без утворення значних зазорів. Допускається виконання у зоні проходження кронштейнів хрестоподібного або вертикального надрізу. У випадку, якщо під час монтажу відбувається виривання частини утеплювача, цей фрагмент необхідно обов'язково повернути на місце та щільно закласти у консоль кронштейна. Встановлення теплоізоляційних плит з зазорами між ними не допускається, оскільки навіть незначні щілини призводять до утворення «містків холоду» та зниження загальних теплотехнічних показників огорожувальної конструкції. У разі зміщення плити під час установки на кронштейн її необхідно зняти, вирівняти положення та встановити повторно.

Забивку дюбелів слід виконувати строго перпендикулярно до площини стіни з використанням тарілчастих дюбелів із гумовим наконечником, що забезпечує рівномірний притиск теплоізоляційної плити без її пошкодження. Не допускається поломка, деформація або установка з перекосом притискної тарілки дюбеля, оскільки в такому випадку не забезпечується необхідна надійність кріплення та знижується довговічність теплоізоляційної системи.

#### 4.2.7 Вимоги до якості та приймання робіт

На всіх етапах виконання будівельно-монтажних робіт, у тому числі під час монтажу навісної вентиляованої фасадної системи, обов'язково здійснюється виробничий контроль якості. Контроль якості передбачає систематичну перевірку відповідності виконуваних робіт вимогам проєктної документації, чинних нормативних документів і технічних умов, а також забезпечення належного рівня надійності, довговічності та безпеки фасадної системи.

Система контролю якості включає вхідний контроль робочої документації, будівельних конструкцій, виробів, матеріалів та обладнання, операційний контроль у процесі виконання окремих будівельних і

оздоблювальних операцій, а також приймальний контроль проміжних і завершених етапів робіт. Обсяг контролю, перелік показників, що перевіряються, та методи контролю повинні відповідати вимогам чинних нормативних документів, зокрема ДСТУ Б В.2.6-35:2008 «Конструкції зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією та опорядженням індустріальними елементами з вентиляльованим повітряним прошарком», ДБН В.2.6-33:2018 «Конструкції зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією. Вимоги до проектування», а також [8].

Контроль якості повинен здійснюватися кваліфікованими фахівцями або спеціалізованими службами, що входять до складу будівельної організації або залучаються на договірних засадах, та оснащеними необхідними технічними засобами, які забезпечують достовірність і повноту перевірок. На етапі вхідного контролю робочої документації виконується перевірка її комплектності, актуальності та достатності технічної інформації для виконання монтажних робіт системи навісного вентиляльованого фасаду [25].

У складі робочої документації на НВФ повинні бути детально опрацьовані та відображені всі основні етапи виконання робіт, зокрема підготовка основи, улаштування теплоізоляційного шару, монтаж підсистеми, встановлення декоративно-захисного облицювання, монтаж віконних і дверних обрамлень, вузли примикання фасадної системи до конструктивних елементів будівлі, улаштування риштувань або помостів, застосування технологічного оснащення, заходи щодо захисту від атмосферних та сонячних впливів, обробка спеціальних і складних ділянок фасаду, улаштування цокольної частини, місць примикань, захисних козирків, а також заходи з пожежної безпеки.

Будівельні організації, які виконують роботи з улаштування систем навісних вентиляльованих фасадів з повітряним зазором, повинні мати повний комплект проєктної та технічної документації, що включає загальну пояснювальну записку, креслення фасадів будівлі з урахуванням фасадного скління, а також розрізи по фасадах із зазначенням матеріалів огорожувальних конструкцій, теплоізоляційного шару та декоративних облицювальних

покриттів. Приймання виконаних робіт здійснюється після підтвердження відповідності всіх елементів фасадної системи проектним рішенням, нормативним вимогам і встановленим показникам якості.

#### Висновок за розділом 4

У розділі 4 виконано комплексний аналіз технічних, конструктивних та організаційно-технологічних рішень з термомодернізації багатоквартирного житлового будинку із застосуванням системи навісного вентиляваного фасаду. На основі результатів обстеження об'єкта встановлено, що існуючі огорожувальні конструкції будівлі, виконані з повнотілої цегли та збірного залізобетону, не відповідають сучасним вимогам енергоефективності, що обґрунтовує доцільність впровадження фасадної теплоізоляційної системи з вентиляваним повітряним прошарком.

У процесі розроблення технологічної карти визначено галузь застосування системи навісного вентиляваного фасаду з облицюванням HPL-панелями Crown та підсистемою KMD VF, яка може ефективно використовуватися як при новому будівництві, так і під час реконструкції та капітального ремонту будівель різної поверховості та функціонального призначення. Розглянуті загальні положення підтвердили, що багатшарова структура системи з утеплювачем, металевим несучим каркасом і вентиляваним зазором забезпечує ефективне видалення вологи, підвищення довговічності фасаду та стабільність теплотехнічних характеристик огорожувальних конструкцій.

Детально опрацьована організація і технологія виконання робіт дозволила встановити чітку послідовність монтажних операцій, починаючи від підготовки основи та встановлення кронштейнів і завершуючи монтажем утеплювача, протипожежних екранів та облицювальних елементів. Особливу увагу приділено правильному вибору та монтажу кріпильних елементів, застосуванню терморозривів, дотриманню нормативних відстаней і допусків, що є

визначальними для зменшення теплових містків та забезпечення надійності фасадної системи в процесі експлуатації.

У розділі також обґрунтовано вимоги до якості та приймання робіт, які базуються на чинних ДБН і ДСТУ та передбачають багаторівневий контроль — від вхідної перевірки матеріалів і документації до приймання завершених етапів робіт. Реалізація зазначених вимог забезпечує відповідність змонтованої системи навісного вентиляваного фасаду проєктним рішенням, нормативним показникам теплотехнічної ефективності, пожежної безпеки та довговічності.

Таким чином, виконані в розділі 4 дослідження та розроблені технологічні рішення підтверджують технічну та економічну доцільність застосування системи навісного вентиляваного фасаду для термомодернізації житлової будівлі, забезпечують підвищення її енергоефективності, експлуатаційної надійності та архітектурної привабливості, а також створюють основу для подальшого впровадження енергоощадних технологій у житловому будівництві.

## РОЗДІЛ 5

### ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

В третьому розділі було обґрунтовано використання пластикових кронштейнів і вентиляованих фасадів на стінах із матеріалів з високим термічним опором, які дієво вирішують зменшення термомостів. Тому в даному розділі прораховуємо вартість влаштування таких вентиляованих фасадів і порівнюємо з іншим варіантом утепленням стін. Розрахунки проводимо на 100 м<sup>2</sup>.

Виконано техніко-економічне порівняння декількох варіантів утеплення стін [26].

1 варіант – Улаштування систем термофасадів, що вентилюються, з облицюванням фасадною керамічною плиткою ;

2 варіант – Утеплення фасадів мінеральними плитами товщиною 100 мм з опорядженням декоративним розчином.

3 варіант – Опорядження стін фасадів металосайдингом з утепленням

Локальні кошторисні розрахунки утеплення стін виконуємо за допомогою програмного комплексу Будівельні Технології (таблиця 5.1-5.3).

Для розрахунку вартості робіт дотримувалися вимог КНУ «Настанови з визначення вартості будівництва».

Кошторисна вартість влаштування конструкцій враховує трудовитрати та заробітна плата будівельників та машиністів, кількість та вартість матеріальних ресурсів, експлуатації будівельних машин та механізмів. Кошторисна вартість влаштування конструкцій визначається як сума прямих та загальновиробничих витрат.

Прямі витрати (ПВ) враховують в своєму складі заробітну плату робочих, вартість експлуатації будівельних машин та механізмів, вартість матеріалів, виробів та конструкцій [26].

Загальновиробничі витрати ( ЗВВ ) – це витрати будівельно-монтажної організації, які входять у виробничу собівартість будівельно-монтажних робіт. Усі затрати, які відносяться до ЗВВ, згруповані в три групи.

(найменування об'єкта будівництва)

Таблиця 5.1 Локальний кошторисний розрахунок на будівельні роботи № 02-004-001

на

Варіант 1 - термофасад. т

(найменування робіт та витрат, найменування будівлі, споруди, лінійного об'єкта інженерно-транспортної інфраструктури)

ОСНОВА:

креслення(специфікації)№

Кошторисна вартість

275.217 тис. грн.

Кошторисна трудомісткість

0.33654 тис. люд.-год

Кошторисна заробітна плата

27.165 тис. грн.

Середній розряд робіт

4.2 розряд

Складений в поточних цінах станом на 2025 р.

№ Ч.ч.	Обґрунтування (шифр норми)	Найменування робіт і витрат	Одиниця виміру	Кількість	Вартість одиниці, грн.		Загальна вартість, грн.			Витрати труда робітників, люд.год. не зайнятих обслуговуванням машин		
					Всього	експлуатації машин	Всього	заробітної плати	експлуатації машин	тих, що обслуговують машини		
										заробітної плати	в тому числі заробітної плати	на одиницю
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	КБ15-79-1	Улаштування систем термофасадів, що вентилюються, з облицюванням фасадною керамічною плиткою з люльок	100 м2 поверхні опорядж ення	1.0	262472.25	548.67	262472	22661	549	295.3400	295.34
					22661.44	344.04			344	5.1395	5.14
	ТСО-4-2	Витрати труда робітників-будівельників розряду 4,2	люд-год	295.34	76.73	22661.44	22661.44				
				295.34							
	КБМ203-101	Автовантажувачі, вантажопідйомність 5 т	маш.год	0.08	532.74	532.74	42.62		42.62		
				0.08		103.48		8.28	1.3900	0.1112	
	КБМ233-1400	Верстат каменерізний універсальний	маш.год	4.53	111.71	111.71	506.05		506.05		
				4.53		74.12		335.76	1.1100	5.0283	
	КБМ270-119	Шурупверти	маш.год	31.25	1.58		49.38				
	КБМ270-123	Люльки двомісні самопідйомні, вантажопідйомність 300/500 кг	маш.год	104.1	4.84		503.84				
				104.1							
	КБМ270-135	Перфоратори електричні	маш.год	12.76	2.08		26.54				
	П2016-2169	Свердла алмазні, діаметр 10 мм	шт	0.046	345.00		15.87				
				0.046							
П2016-2183	Шайби	шт	316.0	2.00		632.00					
			316.0								

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	П2016-3031	Фасадні керамічні плитки розміром 600x100 мм	м2	106.0	980.00		103880.00				
				106.0							
	П2016-3032	Термоізоляційні плити мінераловатні "Superrock", товщина 120 мм	м2	105.0	460.00		48300.00				
				105.0							
	П2016-3033	Кронштейни 100x60 мм	шт	316.0	38.00		12008.00				
				316.0							
	П2016-3034	Дюбелі фасадні 12x80 мм	шт	316.0	10.00		3160.00				
				316.0							
	П2016-3035	Несучий сталевий оцинкований профіль 45x45 мм, товщина 0,8-1,0 мм	м	222.0	96.00		21312.00				
				222.0							
	П2016-3036	Монтажний сталевий оцинкований профіль, товщина 0,55-0,7 мм, довжина 3 м	м	401.0	102.00		40902.00				
				401.0							
	П2016-3037	Гвинти самонарізні 6,3x19 мм	шт	400.0	1.35		540.00				
				400.0							
	П2016-3038	Гвинти самонарізні 4,8x13 мм	шт	1500.0	0.69		1035.00				
				1500.0							
	П2016-3039	Жерсть оцинкована лакована біла, товщина 0,5 мм	м2	22.54	306.00		6897.24				
				22.54							
		<b>Разом прямих витрат по кошторису</b>					262472	22661	549		295.34
									344		5.14
		Разом прями витрати				грн.	262472				
		в тому числі:									

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
		вартість матеріалів, виробів і комплектів				грн.	239262				
		вартість ЕММ				грн.	549				
		в т.ч. заробітна плата в ЕММ				грн.		344			
		заробітна плата робітників				грн.		22661			
		всього заробітна плата				грн.		23005			
		Загальновиробничі витрати				грн.	12745				
		трудоємність в загальновиробничих витратах				люд-г					36.06
		заробітна плата в загальновиробничих витратах				грн.		4160			
		<b>Всього по кошторису</b>				грн.	275217				
		Кошторисна трудоємність				люд-г					336.54
		Кошторисна заробітна плата				грн.		27165			

Керівник  
проектної  
організації

\_\_\_\_\_

[посада, підпис (ініціали, прізвище)]

Склав

\_\_\_\_\_

[посада, підпис (ініціали, прізвище)]

Прийняв

\_\_\_\_\_

[посада, підпис (ініціали, прізвище)]

(найменування об'єкта будівництва)

Таблиця 5.2 - Локальний кошторисний розрахунок на будівельні роботи № 02-004-002

на Варіант 2 - утеплен фасаду мін плитами, кароїд.

(найменування робіт та витрат, найменування будівлі, споруди, лінійного об'єкта інженерно-транспортної інфраструктури)

ОСНОВА:

креслення(специфікації)№

Кошторисна вартість

142.593 тис. грн.

Кошторисна трудомісткість

0.46800 тис. люд.-год

Кошторисна заробітна плата

39.264 тис. грн.

Середній розряд робіт

4.5 розряд

Складений в поточних цінах станом на 2025 р.

№ Ч.ч.	Обґрунтування (шифр норми)	Найменування робіт і витрат	Одиниця виміру	Кількість	Вартість одиниці, грн.		Загальна вартість, грн.			Витрати труда робітників, люд.год. не зайнятих обслугову- ванням машин	
					Всього	експлуа- тації машин	Всього	заробі тної плати	експлуа- тації машин	тих, що обслуговують машини	
										заробітн ої плати	в тому числі заробітн ої плати
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	КБ15-78-1	Утеплення фасадів мінеральними плитами товщиною 120 мм з опорядженням декоративним розчином. Стіни гладкі	100 м2 поверхні опорядж ення	1.0	77582.48	-	77582	33479	-	417.8600	417.86
					33478.94	-					
	ТСО-4-5	Витрати труда робітників-будівельників розряду 4,5	люд-год	417.86 417.86	80.12		33478.94	33478.94			
	КБМ203-401	Лебідки електричні, тягове зусилля до 5,79 кН [0,59 т]	маш.год	20.42 20.42	3.09		63.10				
	КБМ270-115	Дрилі електричні	маш.год	16.67 16.67	2.08		34.67				
	КБМ270-135	Перфоратори електричні	маш.год	26.04 26.04	2.08		54.16				
	С111-1604	Папір шліфувальний	м2	9.2 9.2	210.31		1934.85				
	С111-1608	Дрантя	кг	0.45 0.45	21.99		9.90				
	С111-1624-2	Ґрунтовка глибокого проникнення	л	20.0 20.0	121.72		2434.40				
	С142-10-2	Вода	м3	0.24 0.24	29.58000		7.10				
	П2016-2172	Профілі цокольні	м	3.3 3.3	30.00		99.00				
	П2016-2174	Дюбелі фасадні пластмасові, довжина 160 мм	шт	808.0 808.0	1.48		1195.84				

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
2	П2016-2176	Скросітка	м2	115.0	25.00		2875.00					
				115.0			2875.00					
	П2016-2207	Дюбелі монтажні	шт	11.0	0.90		9.90					
				11.0			9.90					
	П2016-8049-1	Грунтівка адгезійна з кварцевим наповнювачем	л	17.0	200.00		3400.00					
				17.0			3400.00					
	П2016-8058	Суміш суха клеюча для кріплення та захисту елементів систем теплоізоляції	кг	1200.0	9.00		10800.00					
				1200.0			10800.00					
	П2016-8059	Суміш полімерна для декоративного штукатурення та систем теплоізоляції, готова до використання	кг	270.0	45.00		12150.00					
				270.0			12150.00					
	П2016-8060	Акрилова фасадна фарба	кг	50.2	180.00		9036.00					
				50.2			9036.00					
	Ц1-226	Плити мінераловатні	м2	100.0	469.42		46942					
		<b>Разом прямих витрат по кошторису</b>					124524	33479			417.86	
		Разом прямі витрати				грн.	124524					
		в тому числі:										
		вартість матеріалів, виробів і комплектів				грн.	91045					
		заробітна плата робітників				грн.		33479				
		всього заробітна плата				грн.		33479				
		Загальновиробничі витрати				грн.	18069					

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
		трудомісткість в загальновиробничих витратах				люд-г					50.14
		заробітна плата в загальновиробничих витратах				грн.		5785			
		<b>Всього по кошторису</b>				грн.	142593				
		Кошторисна трудомісткість				люд-г					468.00
		Кошторисна заробітна плата				грн.		39264			

Керівник  
проектної  
організації

\_\_\_\_\_

[посада, підпис (ініціали, прізвище)]

Склав

\_\_\_\_\_

[посада, підпис (ініціали, прізвище)]

Прийняв

\_\_\_\_\_

[посада, підпис (ініціали, прізвище)]

(найменування об'єкта будівництва)

**Таблиця 5.3 Локальний кошторисний розрахунок на будівельні роботи № 02-004-003**

на **Варіант 3 - Утеплення. сайдинг.**

(найменування робіт та витрат, найменування будівлі, споруди, лінійного об'єкта інженерно-транспортної інфраструктури)

ОСНОВА:

креслення(специфікації)№

Кошторисна вартість 371.361 тис. грн.

Кошторисна трудомісткість 0.30972 тис. люд.-год

Кошторисна заробітна плата 24.428 тис. грн.

Середній розряд робіт 4.0 розряд

Складений в поточних цінах станом на 2025 р.

№ Ч.ч.	Обґрунтування (шифр норми)	Найменування робіт і витрат	Одиниця виміру	Кількість	Вартість одиниці, грн.		Загальна вартість, грн.			Витрати труда робітників, люд.год. не зайнятих обслуговуванням машин	
					Всього	експлуатації машин	Всього	заробітної плати	експлуатації машин	тих, що обслуговують машини	
										заробітної плати	в тому числі заробітної плати
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	КБ15-80-1	Опорядження стін фасадів металосайдингом з утепленням, з люльок	100 м2 поверхні опорядження	1.0	359766.43	227.51	359766	20550	228	276.0300	276.03
					20550.43	48.92			49	0.5112	0.51
	ТСО-4	Витрати труда робітників-будівельників розряду 4	люд-год	276.03	74.45		20550.43	20550.43			
				276.03							
	КБМ202-1140	Крани на автомобільному ході, вантажопідйомність 6,3 т	маш.год	0.36	631.96	631.96	227.51		227.51		
				0.36					135.88	48.92	1.4200
	КБМ270-119	Шуруповерти	маш.год	30.86	1.58				48.76		
				30.86							
	КБМ270-123	Люльки двомісні самопідйомні, вантажопідйомність 300/500 кг	маш.год	122.97	4.84				595.17		
				122.97							
	КБМ270-135	Перфоратори електричні	маш.год	54.77	2.08				113.92		
				54.77							
	П2016-3032	Термоізоляційні плити мінераловатні, товщина 120 мм	м2	105.0	460.00				48300.00		
				105.0							
П2016-3040	Сайдинг сталевий з полімерним покриттям	м2	118.0	465.00				54870.00			
			118.0								
П2016-3041	Пластмасові дюбелі тарілчастого типу, довжина 150 мм	шт	875.0	6.06				5302.50			
			875.0								

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	П2016-3042	Кронштейни вирівнювальні	шт	400.0	4.27		1708.00				
				400.0							
	П2016-3043	Паронітова прокладка	шт	400.0	1.19		476.00				
				400.0							
	П2016-3044	Дюбелі фасадні 12x100 мм	шт	800.0	14.88		11904.00				
				800.0							
	П2016-3045	Профіль напрямний	м	400.0	522.00		208800.00				
				400.0							
	П2016-3046	Націлінник сталевий оцинкований з полімерним покриттям	м	12.0	85.00		1020.00				
				12.0							
	П2016-3047	Кут зовнішній, внутрішній з оцинкованої сталі з полімерним покриттям	м	55.0	70.00		3850.00				
				55.0							
	П2016-3048	Гвинти самонарізні 4,2x16 мм	шт	4000.0	0.50		2000.00				
				4000.0							
		<b>Разом прямих витрат по кошторису</b>					359766	20550	228		276.03
									49		0.51
		Разом прямі витрати				грн.	359766				
		в тому числі:									
		вартість матеріалів, виробів і комплектів				грн.	338988				
		вартість ЕММ				грн.	228				
		в т.ч. заробітна плата в ЕММ				грн.		49			
		заробітна плата робітників				грн.		20550			
		всього заробітна плата				грн.		20599			
		Загальновиробничі витрати				грн.	11595				

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
		трудоємність в загальновиробничих витратах				люд-г					33.18
		заробітна плата в загальновиробничих витратах				грн.		3829			
		<b>Всього по кошторису</b>				грн.	371361				
		Кошторисна трудоємність				люд-г					309.72
		Кошторисна заробітна плата				грн.		24428			

Керівник  
проектної  
організації

\_\_\_\_\_

[посада, підпис (ініціали, прізвище)]

Склав

\_\_\_\_\_

[посада, підпис (ініціали, прізвище)]

Прийняв

\_\_\_\_\_

[посада, підпис (ініціали, прізвище)]

За результати підрахунку кошторисної вартості (Кв) влаштування різних варіантів утеплення стін 100 м<sup>2</sup>(таблиця 5.1 та 5.3):

- Варіант 1 - 275,217 тис. грн.
- Варіант 2 - 142,593 тис. грн.
- Варіант 3 - 371,361 тис. грн.

За кошторисною вартістю утеплення мінеральною ватою з нанесенням кароїду дешевше на 132,624 тис. грн .

Для подальшого порівняння враховуємо експлуатаційні витрати, які представлені наступними даними:

Теплотехнічні витрати:

Варіант 1 (вентильований термофасад + керамічна плитка):

$$U_1 = 0.18 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}).$$

Варіант 2 (мінеральна плита 100 мм + декоративний розчин):

$$U_2 = 0.28 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}).$$

Варіант 3 (металосайдинг з утепленням, краща ізоляція):

$$U_3 = 0.16 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}).$$

Річні витрати на техобслуговування (у відсотках від Кв):

- V1 = 0.2 %;
- V2 = 1.5 %;
- V3 = 1.0 %.

Термін служби / заміни: V<sub>1</sub> – 30 р.; V<sub>2</sub> – 20 р. (одна заміна у рік 20); V<sub>3</sub> – 25 р. (одна заміна у рік 25).

При порівнянні варіантів приймається той варіант, який має мінімальне значення приведених витрат.

Розрахунок виконується за формулою [26]:

$$P_v = K_v + \sum_{i=1}^t C_i \cdot (1 + E_m)^i, \quad (5.1)$$

де  $P_v$  – приведені витрати, грн.;

$C_i$  – річні витрати на ремонт у відповідні роки, грн/рік;

$t$  – термін функціонування основних фондів, років;

$K_v$  – обсяги інвестицій у будівництво об'єкта, грн.

$E_m$  – дисконтна ставка приведення різночасових витрат,  $E_m = 0,07$ .

Кожний варіант при порівнянні приводимо до максимальної кількості років - 30 років.

Результати порівняння варіантів наведені в таблиці 5.4

Таблиця 5.4 – Порівняння варіантів

Показники	Варіант 1	Варіант 2	Варіант 3
Прямі витрати, тис. грн.	262,472	142,524	15,051
Кошторисна трудомісткість, тис. люд.-год.	0,336	0,468	0,31
Кошторисна заробітна плата, тис. грн.	27,17	39,264	24,428
Загальновиробничі витрати, тис. грн.	12,745	18,069	11,595
Усього за кошторисом, тис. грн.	275,217	142,593	371,361
Експлуатаційн витрати тис. грн.	91,74	142,59	123,79
Основні виробничі фонди, тис. грн.	0,205	0,15	1,979
Річні витрати на ремонт, тис. грн.	91,94	142,74	125,77
Показник приведених витрат, тис. грн.	286,25	290,21	386,45
Економічний ефект, тис. грн.	3,96		

#### Висновок за розділом 5

В даному розділі виконано техніко-економічне порівняння влаштування утеплення стін фасадів. Для трьох варіантів розроблений

локальний кошторис за допомогою програмного комплексу Будівельні Технології. В кошторисних документах визначена кошторисна вартість виконання робіт, з урахуванням заробітної плати, вартості матеріалів, вартості експлуатації машин та трудовитрат.

1 варіант – Улаштування систем термофасадів, що вентилюються, з облицюванням фасадною керамічною плиткою - 275,217 тис. грн;

2 варіант – Утеплення фасадів мінеральними плитами товщиною 100 мм з опорядженням декоративним розчином - 142,593 тис. грн.

3 варіант – Опорядження стін фасадів металосайдингом з утепленням 371,361 тис. грн.

За кошторисною вартістю утеплення мінеральною ватою з нанесенням кароїду дешевше на 132,624 тис. грн .

З урахування експлуатаційних витрат, терміну служби, довговічності (гарантійні строки виробника), менших ризиків (вологість, конденсат, відшарування), що відображається в приведених витратах , то вентильований фасад, з облицюванням фасадною керамічною плиткою є обґрунтованим.

## ВИСНОВКИ

Проведено аналіз існуючих інженерно-технічних рішень в технологіях проектування і будівництва огорожувальних конструкцій будівель й обґрунтувати варіанти влаштування ефективних багатошарових огорожувальних конструкцій будівель.

Проведено розрахунки теплофізичних характеристик запропонованого варіанту багатошарової огорожувальної конструкції та виконано розрахунки економічних показників ефективності використання запропонованих технологічних рішень.

Сформульовано та визначено актуальність теми роботи. Встановлено, що підвищення енергетичної ефективності будівель шляхом улаштування системи вентиляваного фасаду є одним із пріоритетним напрямком держави.

Термомости, що зосереджуються в місцях, де кріпильна система з'єднується з зовнішньою стіною будівлі, спричиняють значні втрати тепла для огорожуючих

конструкцій. У деяких випадках збільшення товщини шару теплоізоляції збільшує деформацію кріпильного кронштейна та не компенсує цей вплив на систему. Таким чином, перетин кронштейна повинен бути більшим. Як наслідок, збільшується площа, яка залишається між кронштейном і стіною. Коефіцієнт теплопровідності всієї конструкції буде значно вищим через це.

Використання пластикових кронштейнів і вентиляваних фасадів на стінах із матеріалів з високим термічним опором є найефективнішим способом зменшення термомостів.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Майданюк С. С., Меть І. М. Підвищення енергоефективності житлових будівель шляхом застосування ресурсозберігаючих технологій. Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції Енергоефективність в галузях економіки України-2025, Вінниця, 19-21 листопада 2025 р. Електрон. текст. дані. 2025. Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/egeu/egeu2025/paper/viewFile/26453/21798>
2. ДБН В.2.6-31:2021. Теплова ізоляція та енергоефективність будівель. [Чинний від 2022-09-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2022. 56 с.
3. Фаренюк Г. Г. Енергетична ефективність будівель і споруд. Київ : Будівельник, 2019. 256 с.
4. Беляєв О. О., Пахомов О. М. Енергоефективні огорожувальні конструкції будівель : монографія. Київ : КНУБА, 2018. 312 с.
5. Ковальчук В. П. Будівельна теплофізика : навч. посіб. Львів : Вид-во Львівської політехніки, 2017. 284 с.
6. ДБН В.1.1-7:2016. Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги. – [Чинний від 2017-06-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2017. 41 с.
7. ДБН В.2.2-15:2019. Житлові будинки. Основні положення. [Чинний від 2019-10-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2019. 44 с.
8. ДБН А.3.1-5:2016. Організація будівельного виробництва. [Чинний від 2017-01-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2016. 50 с.
9. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування. [Чинний від 2014-01-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2013. 141 с.

10. ДСТУ Б В.2.6-33:2018. Конструкції будинків і споруд. Зовнішні стіни з фасадною теплоізоляцією. Вимоги до проектування. [Чинний від 2019-01-01]. Вид. офіц. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2018. 28 с.
11. ДСТУ Б В.2.6-35:2008. Конструкції зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією та опорядженням індустріальними елементами з вентиляльованим повітряним прошарком. [Чинний від 2009-01-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіонбуд України, 2008. 32 с.
12. Кузьменко О. М., Лях В. О. Системи утеплення фасадів будівель: навч. посіб. Київ : Основа, 2016. 198 с.
13. Attenborough K., Jones N. Sustainable Building Design. London: Routledge, 2018. 310 p.
14. ДСТУ EN 13501-1:2019. Класифікація будівельних виробів і елементів будівель за реакцією на вогонь. [Чинний від 2020-01-01]. Вид. офіц. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2019. 67 с.
15. ДСТУ ISO 6946:2017. Будівельні елементи та будівельні конструкції. Тепловий опір і коефіцієнт теплопередачі. Методи розрахунку. [Чинний від 2018-01-01]. Вид. офіц. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2017. 42 с.
16. ДСТУ EN 1991-1-2:2019. Єврокод 1. Дії на конструкції. Частина 1-2. Дії на конструкції при пожежі. [Чинний від 2020-01-01]. Вид. офіц. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2019. 59 с.
17. Закон України «Про енергетичну ефективність будівель». [Чинний]. Київ : Верховна Рада України, 2017. № 33. Ст. 359.
18. Закон України «Про енергозбереження». [Чинний]. Київ: Верховна Рада України, 1994. № 30. Ст. 277.
19. Cabeza L. F., de Gracia A. Energy Efficiency in Buildings. Amsterdam: Elsevier, 2017. 276 p.
20. Дудар І.Н., Прилипко Т.В., Потапова Т.Е. Довідник нормативно-технічних даних для проектів виконання комплексу робіт по зведенню

надземної частини будівель та споруд: учеб. видання. Вінниця : ВНТУ, 2006. 114 с.

21. ДБН Г.1-5-96. Будівельна техніка, оснастка, інвентар та інструмент. [Чинний від 1996-01-09]. Вид. офіц. Київ : Держкоммістобудування України, 1997. - 161 с. – (Нормативна база оснащення будівельних організацій (бригад) засобами механізації, інструментом і інвентарем).

22. ДСТУ Б Д.2.7-1:2012. Ресурсні кошторисні норми експлуатації будівельних машин та механізмів. Зміна №2. [Чинний від 2014-01-01]. - Київ : Мінрегіон України, 2013. 239 с.

23. Кошторисні норми України. Ресурсні елементні кошторисні норми на будівельні роботи. Бетонні та залізобетонні конструкції збірні (Збірник 7) [Чинний від 2023-02-22]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіонбуд України, 2023. 216 с.

24. ДБН Д.2.2-8-99. РЕКН на будівельні роботи. "Ресурсні елементні кошторисні норми на будівельні роботи. Конструкції із цегли і блоків (Збірник 8) [Чинний від 2000-01-01]. - Київ: Державний комітет будівництва, архітектури та житлової політики, 2000. 101 с. (Державні стандарти України).

25. Порядок виконання підготовчих та будівельних робіт. Затверджено постановою Кабінету Міністрів України від 13 квітня 2011 р. № 466 (в редакції постанови Кабінету Міністрів України від 26 серпня 2015 р. № 747) К: Держбуд України, 2015. 28 с. (Національні стандарти України).

26. ДСТУ Б Д 1.1.1-2013. Правила визначення вартості будівництва. [Чинний від 2014-01-01]. Вид. офіц. Київ: Мінрегіон України, 2014. 97 с.

## **ДОДАТКИ**

## ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Назва роботи: Підвищення енергоефективності житлових будівель шляхом застосування ресурсозберігаючих технологій

Тип роботи: Магістерська кваліфікаційна робота

(бакалаврська кваліфікаційна робота / магістерська кваліфікаційна робота)

Підрозділ БМГА, ФБЦЕІ, гр. 2Б-24м

(кафедра, факультет, навчальна група)

Коефіцієнт подібності текстових запозичень, виявлених у роботі системою StrikePlagiarism (КПІ) 5,64 %

Висновок щодо перевірки кваліфікаційної роботи (відмітити потрібне)

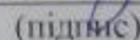
- Запозичення, виявлені у роботі, є законними і не містять ознак академічного плагіату, фабрикації, фальсифікації. Роботу прийняти до захисту
- У роботі не виявлено ознак плагіату, фабрикації, фальсифікації, але надмірна кількість текстових запозичень та/або наявність типових розрахунків не дозволяють прийняти рішення про оригінальність та самостійність її виконання. Роботу направити на доопрацювання.
- У роботі виявлено ознаки академічного плагіату та/або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень. Робота до захисту не приймається.

Експертна комісія:

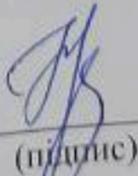
Бікс Ю.С., доцент кафедри БМГА  
(прізвище, ініціали, посада)

  
(підпис)

Швець В.В., завідувач кафедри БМГА  
(прізвище, ініціали, посада)

  
(підпис)

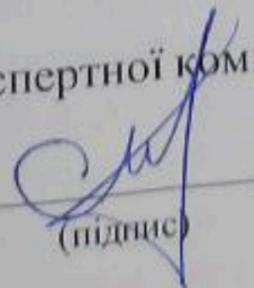
Особа, відповідальна за перевірку

  
(підпис)

Блащук Н.В.  
(прізвище, ініціали)

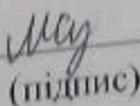
З висновком експертної комісії ознайомлений(-на)

Керівник

  
(підпис)

Меть І.М., доцент кафедри БМГА  
(прізвище, ініціали, посада)

Здобувач

  
(підпис)

Майданок С.С.

(прізвище, ініціали)

Додаток Б – Відомість графічної частини

Лист	Зміст листа
Лист №1	Актуальність, мета, задачі, предмет дослідження, об'єкт дослідження, наукова новизна
Лист №2	Основні технології, які ефективно використовуються при термомодернізації
Лист №3	Основні технології, які ефективно використовуються при термомодернізації
Лист №4	Основні технології, які ефективно використовуються при термомодернізації
Лист №5	Дослідження впливу теплових мостів на ефективність роботи системи навісного вентилязованого фасаду
Лист №6	Дослідження впливу теплових мостів на ефективність роботи системи навісного вентилязованого фасаду
Лист №7	Дослідження впливу теплових мостів на ефективність роботи системи навісного вентилязованого фасаду
Лист №8	Аналіз впливу теплових мостів у системі навісного вентилязованого фасаду з урахуванням висоти кріпильних кронштейнів і застосування терморозривної подушки
Лист №9	Аналіз впливу теплових мостів у системі навісного вентилязованого фасаду з урахуванням висоти кріпильних кронштейнів і застосування терморозривної подушки
Лист №10	Аналіз впливу теплових мостів у системі навісного вентилязованого фасаду з урахуванням висоти кріпильних кронштейнів і застосування терморозривної подушки
Лист №11	Аналіз впливу теплових мостів у системі навісного вентилязованого фасаду з урахуванням висоти кріпильних кронштейнів і застосування терморозривної подушки
Лист №12	Дослідження впливу термомостів на теплопровідність системи вентилязованого фасаду з урахуванням конструктивних особливостей кріпильних кронштейнів та їх матеріалів
Лист №13	Дослідження впливу термомостів на теплопровідність системи вентилязованого фасаду з урахуванням конструктивних особливостей кріпильних кронштейнів та їх матеріалів
Лист №14	Фасад 1-13
Лист №15	Фасад В-А, розріз 1-1
Лист №16	План першого поверху, план типового поверху
Лист №17	План підвалу, план перекриття в осях 1-5, план горища, план покрівлі
Лист №18	Технологічна карта на влаштування вентилязованого фасаду

**Актуальність теми.** Оптимізація споживання енергетичних ресурсів за умови забезпечення нормативного рівня комфорту внутрішнього середовища передбачає реалізацію комплексу інженерно-технічних заходів з термомодернізації існуючих будівель. Такі заходи сприяють не лише скороченню витрат на енергоспоживання, але й підвищенню національної енергетичної безпеки, а також зменшенню негативного впливу на довкілля.

Актуальність обраного напрямку досліджень обумовлена необхідністю впровадження нових ефективних технологій термомодернізації житлових будівель, зовнішні огорожувальні конструкції яких не відповідають чинним теплотехнічним вимогам будівельних норм.

**Метою** магістерської кваліфікаційної роботи є розробка комплексу ефективних заходів у складі ресурсозберігаючої технології термомодернізації огорожувальних конструкцій існуючих житлових будівель.

**Для досягнення поставленої мети передбачено вирішення таких завдань:**

- аналіз сучасних інженерно-технічних рішень у проектуванні та будівництві огорожувальних конструкцій;
- обґрунтування варіантів ефективних багат шарових огорожувальних конструкцій і дослідження їх теплофізичних властивостей;
- виконання теплотехнічних розрахунків та графічної інтерпретації процесів тепло- і вологообміну;
- розробка архітектурно-будівельних, конструктивних і технологічних рішень термомодернізації житлової будівлі;
- визначення технологічних параметрів будівельних процесів;
- оцінка економічної ефективності запропонованих рішень;

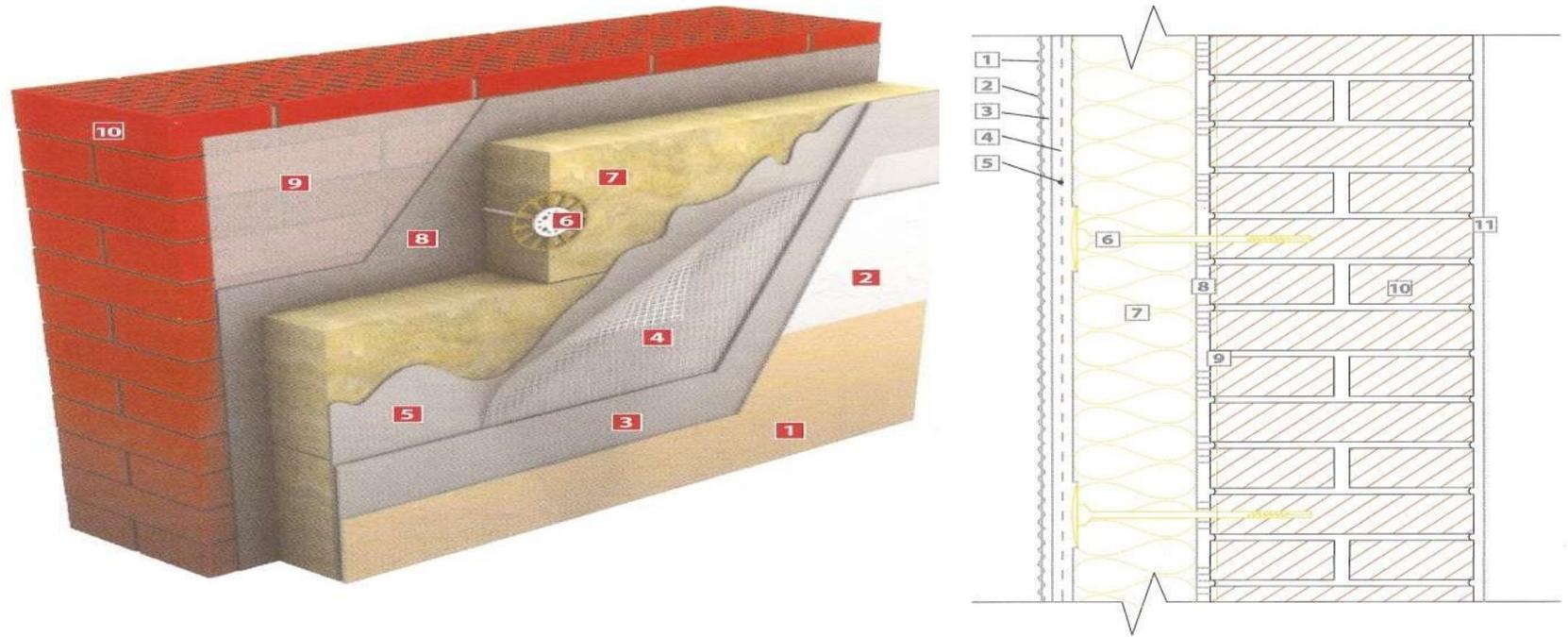
**Об'єкт дослідження** – багат шарові огорожувальні конструкції існуючих житлових будівель.

**Предмет дослідження** – технологічні рішення та теплотехнічні параметри зовнішніх огорожувальних конструкцій житлових будівель.

**Новизна роботи:**

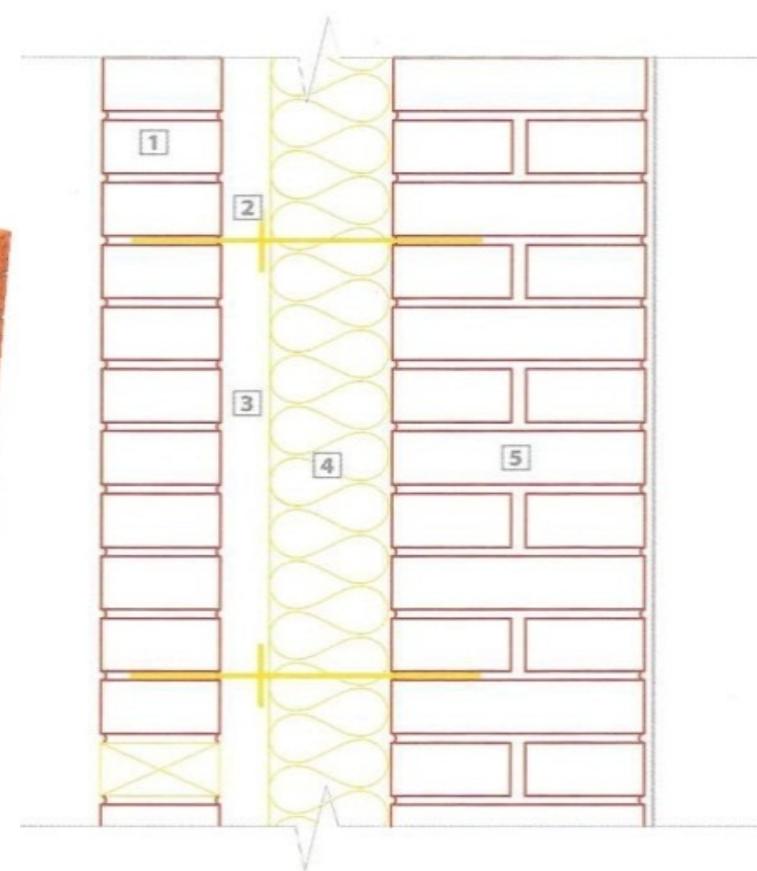
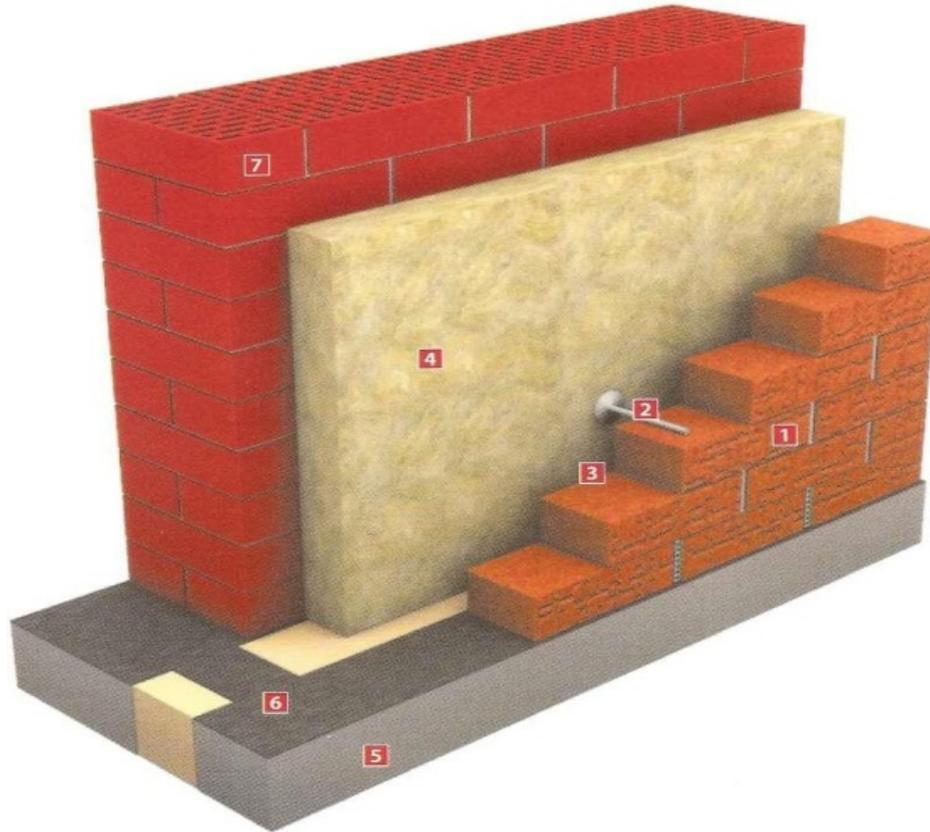
- встановлено раціональний варіант технологічних рішень з покращення теплотехнічних характеристик експлуатованих будівель із використанням сучасних теплоізоляційних матеріалів;
- обґрунтовано та розроблено ефективний варіант термомодернізації зовнішніх огорожувальних конструкцій житлової будівлі.

Основні технології,  
які ефективно  
використовуються  
при  
термомодернізації



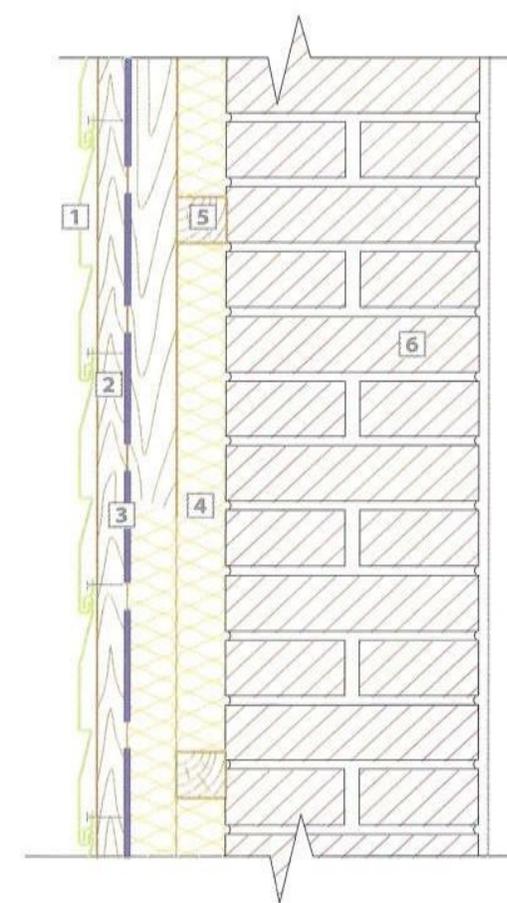
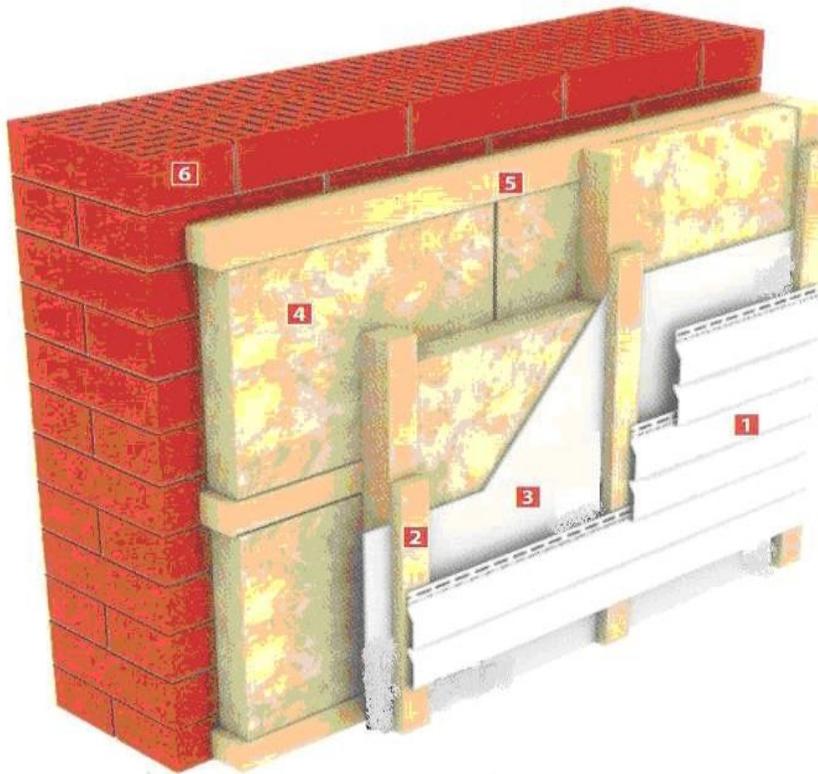
- Рисунок 1.2 – Конструктивна схема фасадної системи теплоізоляції за «мокрим» методом: 1 – фінішне лакофарбове покриття (за необхідності); 2 – декоративний штукатурний шар; 3 – кварцова адгезійна ґрунтівка; 4 – армувальна склотканнна сітка; 5 – базовий армувальний шар; 6 – фасадний тарільчастий дюбель; 7 – теплоізоляційний шар; 8 – клейова суміш для монтажу утеплювача; 9 – ґрунтівка зміцнювальної дії; 10 – зовнішня стіна будівлі

Основні технології,  
які ефективно  
використовуються  
при  
термомодернізації



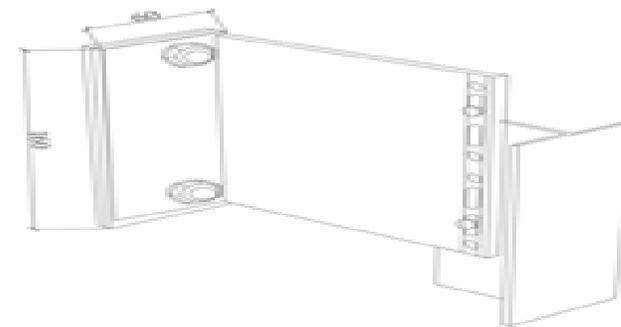
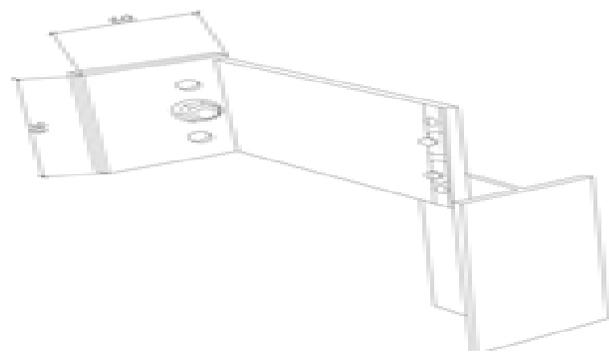
- Рисунок 1.3 – Конструктивна схема фасадної системи на основі шаруватої кладки з декоративним цегляним облицюванням:  
1 – шар декоративної облицювальної цегли; 2 – гнучкі анкери-зв'язки; 3 – вентиляований повітряний проміжок;  
4 – теплоізоляційний шар; 5 – опорне перекриття з використанням системи «термовкладушів»; 6 – горизонтальна гідроізоляційна відсічка; 7 – несучий або самонесучий конструктивний шар (цегляна кладка, легкі блоки густиною не менше  $600 \text{ кг/м}^3$ , або монолітний залізобетон)

Основні технології,  
які ефективно  
використовуються  
при  
термомодернізації

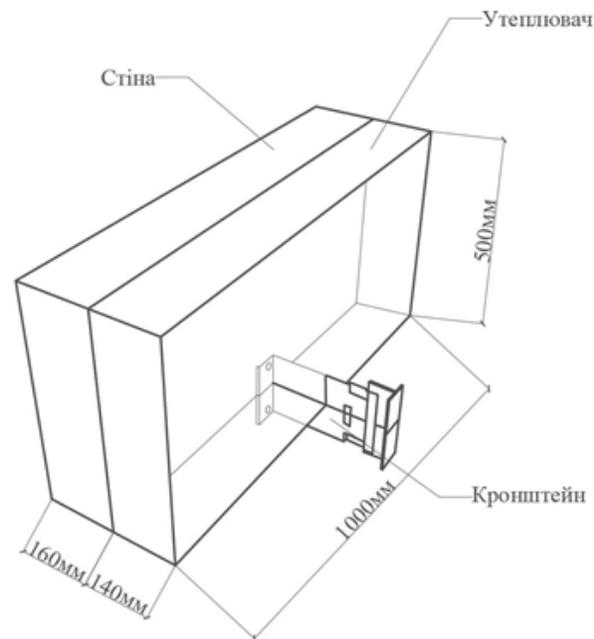


- Рисунок 1.4 – Конструктивна схема фасадної системи з використанням навісних облицювальних панелей: 1 – фасадні облицювальні панелі; 2 – контррейка (товщина 3–5 см); 3 – гідро- та вітрозахисна мембрана; 4 – теплоізоляційний шар; 5 – несучий каркас для розміщення теплоізоляції; 6 – кам'яна кладка як основа стіни

Дослідження  
впливу теплових  
мостів на  
ефективність  
роботи системи  
навісного  
вентильованого  
фасаду

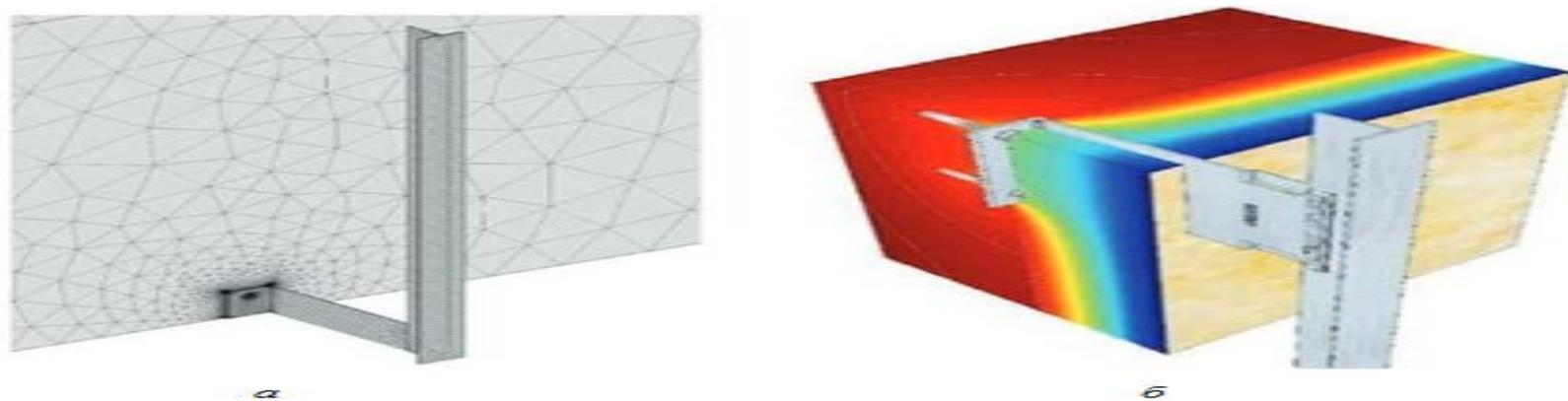


- Рисунок 3.1 – Конструктивні варіанти кріпильних елементів вентильованого фасаду: а – кронштейн на половину висоту, б – кронштейни на повну висоту



- Рисунок 3.2 – Параметри досліджуваної моделі

Дослідження  
впливу теплових  
мостів на  
ефективність  
роботи системи  
навісного  
вентильованого  
фасаду



• Рисунок 3.3 – Імітаційний елемент для дослідження з використанням

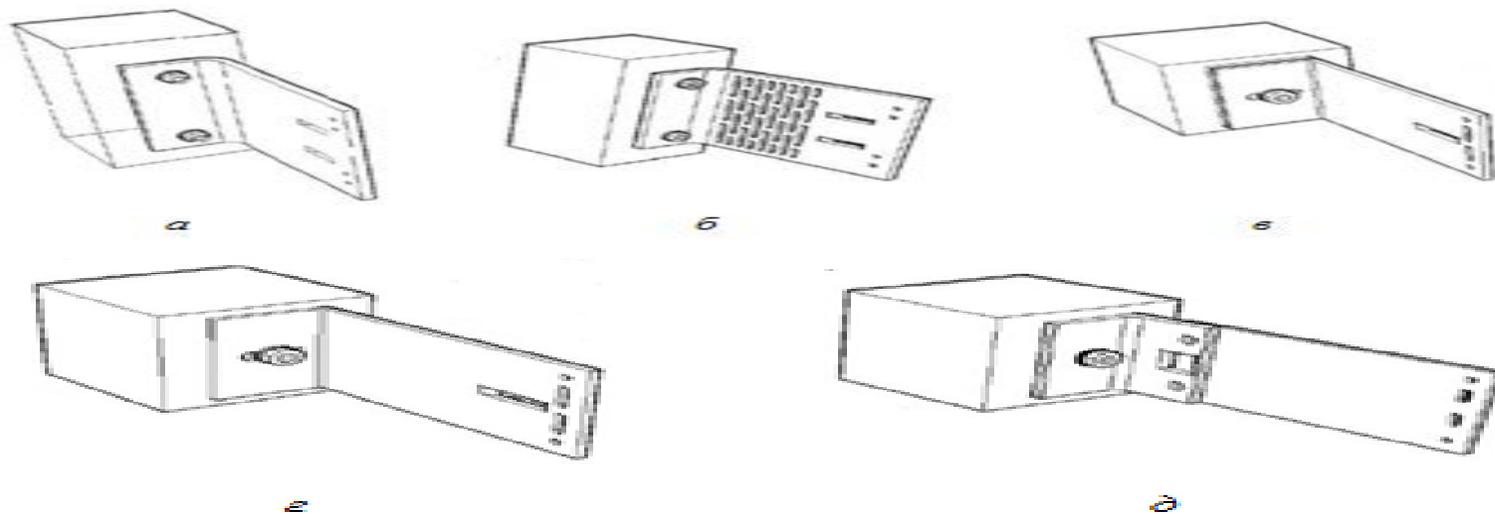
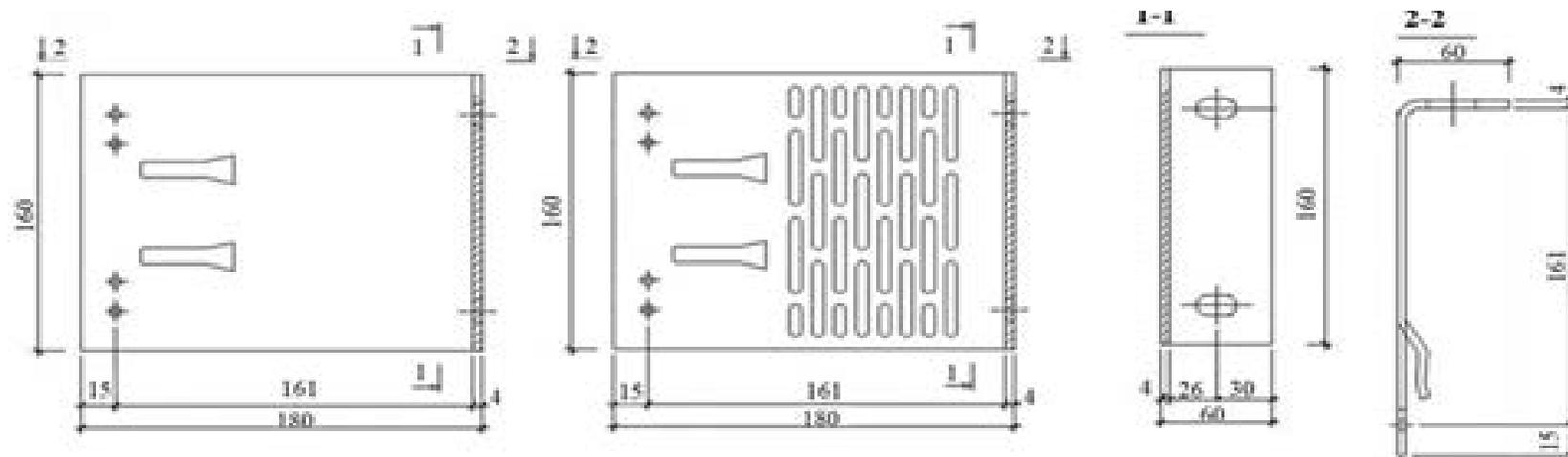


Рисунок 3.4 – Конструкції кронштейнів для монтажу вентильованих фасадів  
*a* – алюмінієвий або нержавіючий кронштейн; *б* – перфорований кронштейн з нержавіючої сталі; *в* – алюмінієвий стабілізуючий кронштейн з термопрокладкою; *г* – алюмінієвий стабілізуючий кронштейн; *д* – стабілізуючий тепловий кронштейн з пластикового кутового кронштейна зі зміщеною алюмінієвою плоскою стійкою

Дослідження впливу теплових мостів на ефективність роботи системи навісного вентиляваного фасаду



• Рисунок 3.5 – Розміри аналізованих несучих кронштейнів

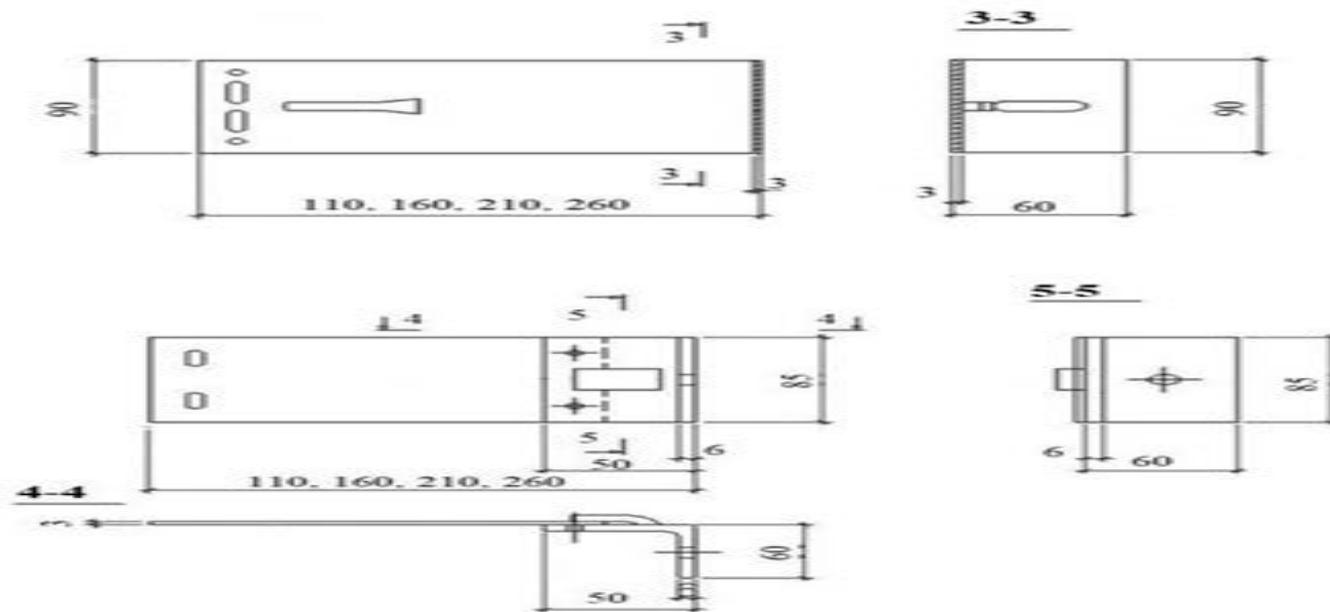


Рисунок 3.6 – Геометричні параметри алюмінієвого та комбінованого термокронштейнів

Аналіз впливу теплових мостів у системі навісного вентиляваного фасаду з урахуванням висоти кріпильних кронштейнів і застосування терморозривної подушки

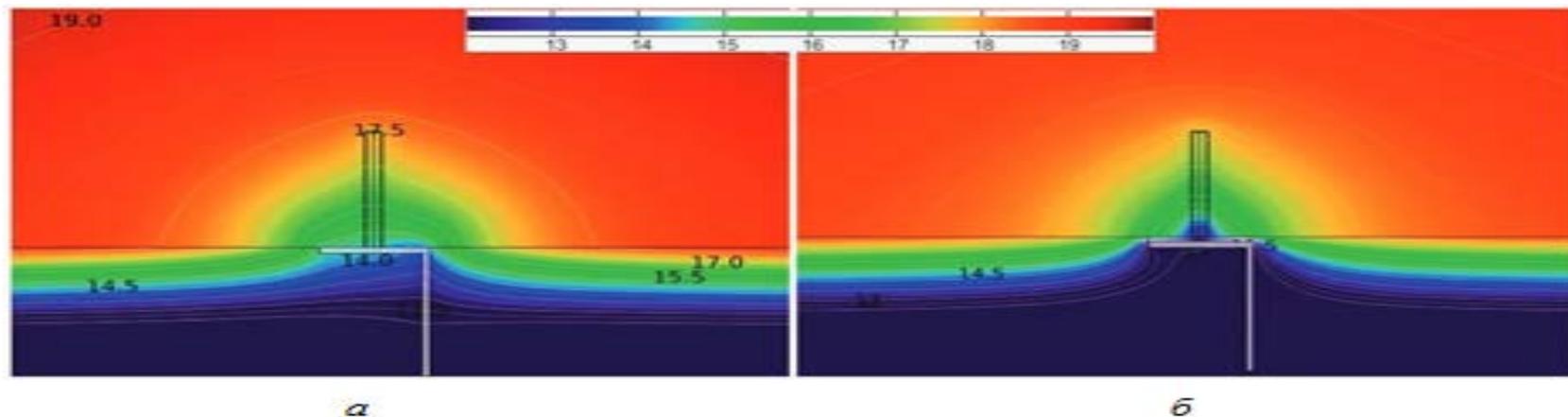


Рисунок 3.8 – Розподіл температурного поля у вигляді ізотермічних поверхонь у площині, вертикальній до анкера: а – без застосування терморозриву; б – з використанням терморозривної подушки

Точковий коефіцієнт теплопровідності (значення  $\chi$ ) як функція теплопровідності матеріалу стінки підкладки (товщина теплоізоляції = 0,20 м)

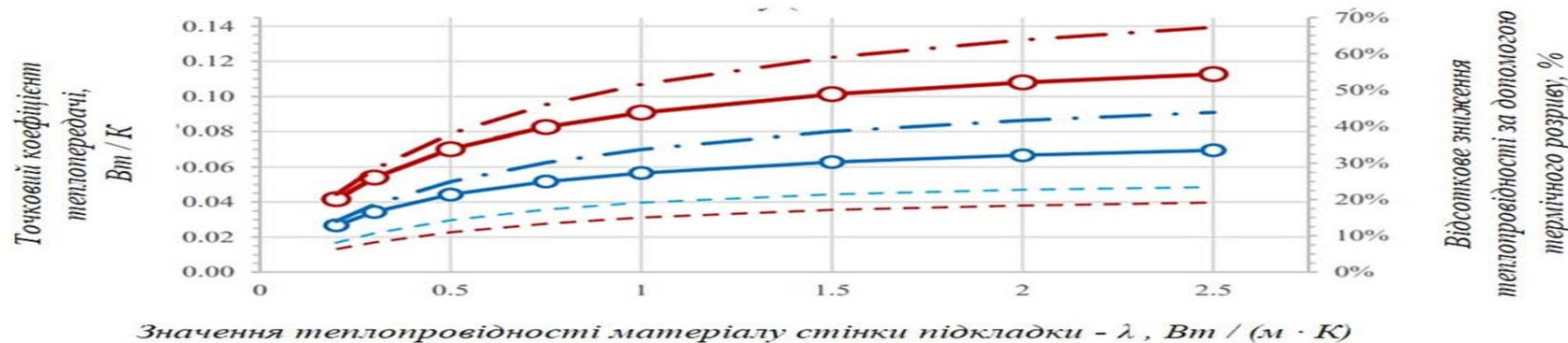
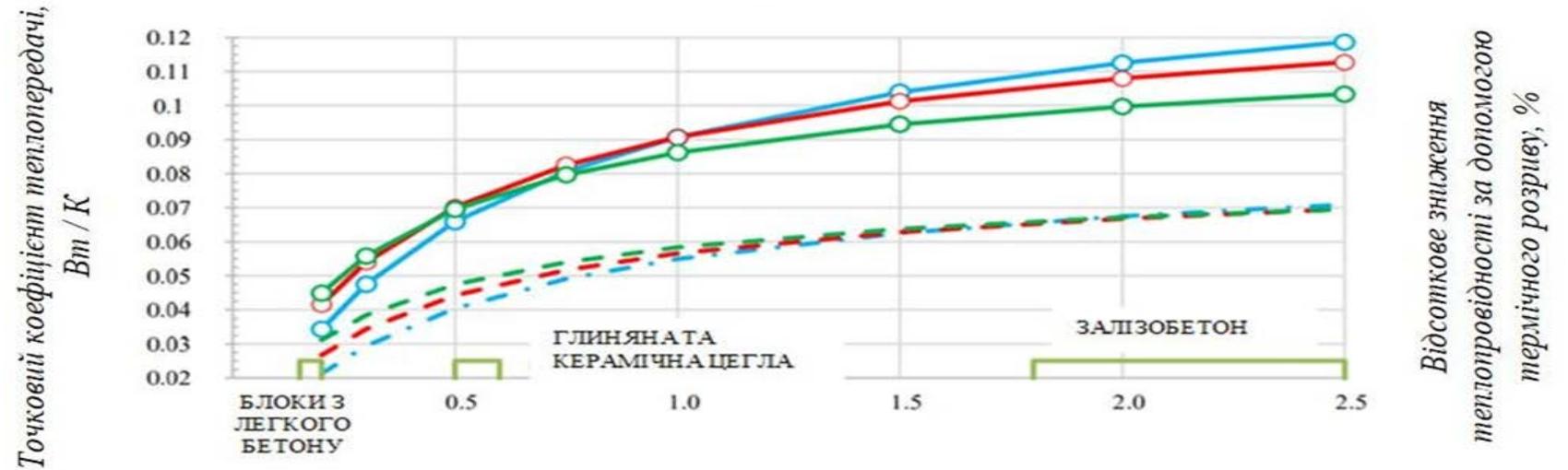


Рисунок 3.9 – Вплив теплового розриву на точковий коефіцієнт теплопередачі при різних значеннях теплопровідності стінки підкладки (для сталевого анкера)

- кронштейн повної висоти з терморозривною подушкою;
- кронштейн наполовину висоти з терморозривною подушкою;
- · · · — кронштейн повної висоти;
- · · · — кронштейн наполовину висоти;
- · · · — відсоткове зниження теплопровідності для кронштейна повної висоти;
- · · · — відсоткове зниження теплопровідності для кронштейна наполовину висоти

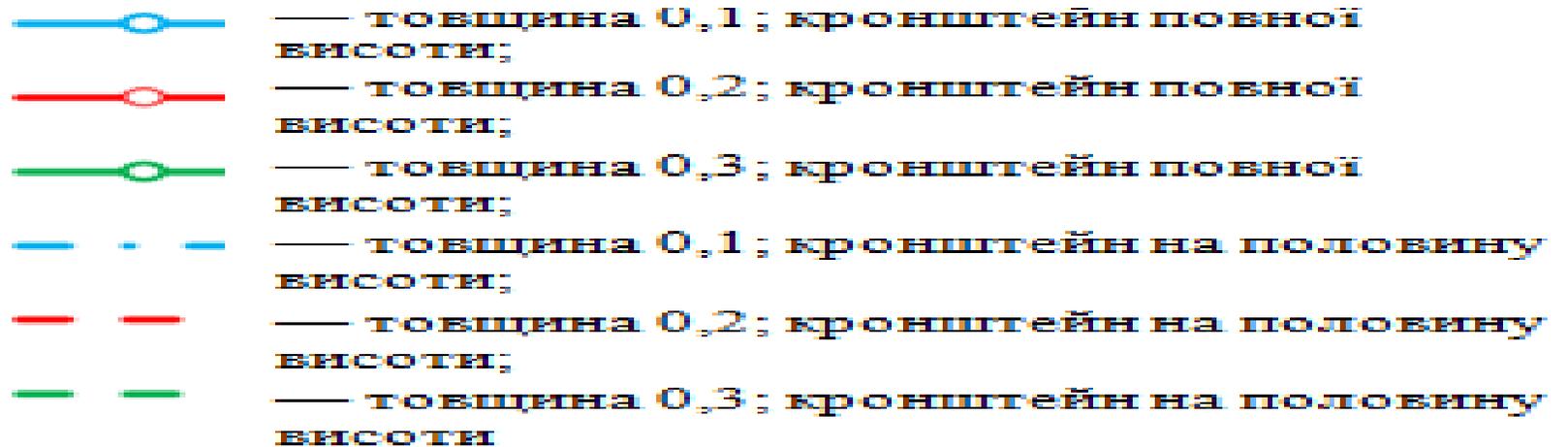
Аналіз впливу теплових мостів у системі навісного вентильованого фасаду з урахуванням висоти кріпильних кронштейнів і застосування терморозривної подушки

Точковий коефіцієнт теплової віддачі (значення  $\gamma$ ) як функція теплопровідності матеріалу стінки підкладки

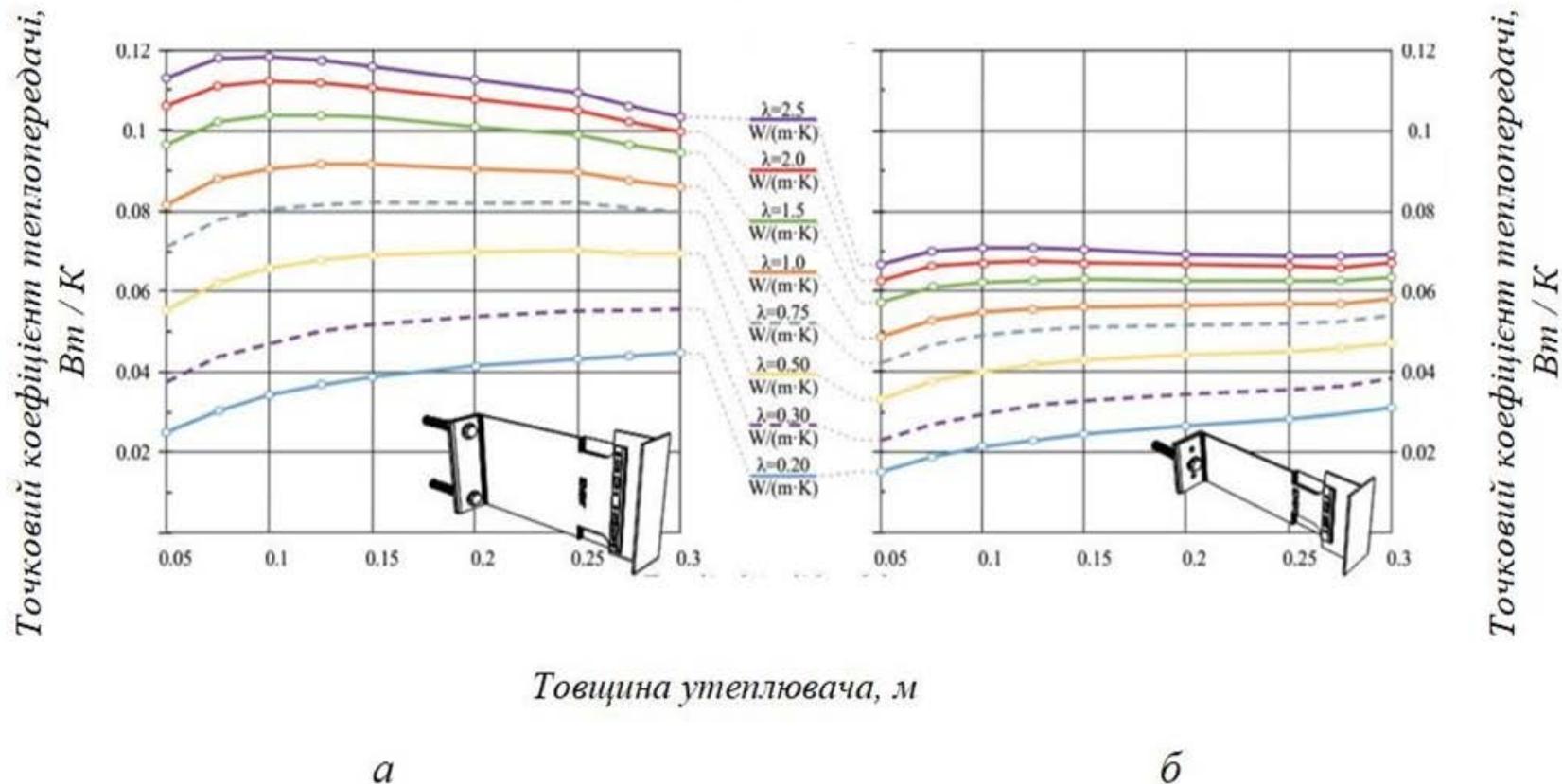


Значення теплопровідності матеріалу стіни -  $\lambda$ , Вт / (м · К)

- Рисунок 3.10 – Вплив значення теплопровідності матеріалу стіни на точковий коефіцієнт теплопередачі



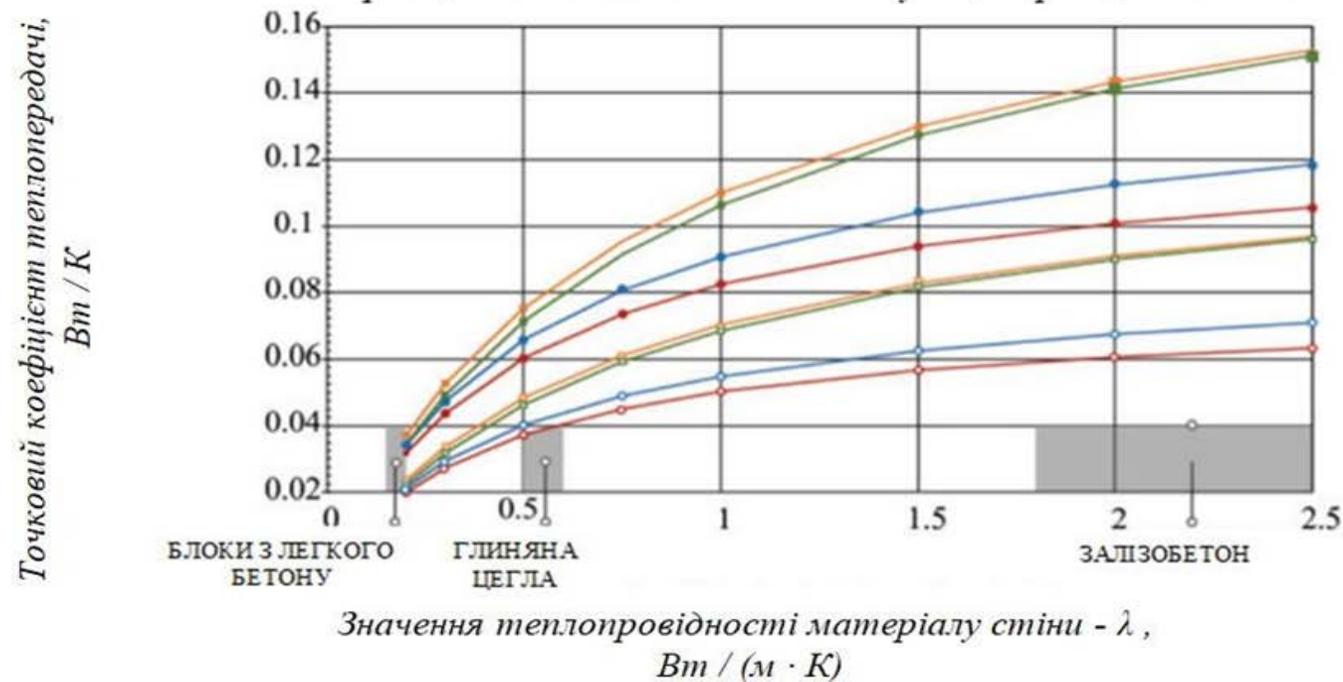
Точковий коефіцієнт теплопередачі (значення  $\chi$ ) як функція товщини теплоізоляції для різних теплопровідностей



- Рисунок 3.11 – Залежність точкового коефіцієнта теплопередачі від товщини мінераловатного утеплювача ( $\lambda = 0,035 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ ) для двох типів кронштейнів: а – повної висоти; б – зменшеної (половинної) висоти

Аналіз впливу теплових мостів у системі навісного вентильованого фасаду з урахуванням висоти кріпильних кронштейнів і застосування терморозривної подушки

Точковий коефіцієнт теплопропускання (значення  $\chi$ ) як функція кріплення матеріалу для різних матеріалів стін та для обох досліджуваних кронштейнів



• Рисунок 3.12 – Вплив товщини теплоізоляції на точковий коефіцієнт теплопередачі для різноманітної теплопровідності стінки анкера

- анкер з хім. домішками з терморозривною подушкою, кронштейн повної висоти;
- анкер з хім. домішками з терморозривною подушкою, кронштейн на половину висоти;
- анкер з хім. домішками, кронштейн повної висоти;
- анкер з хім. домішками, кронштейн на половину висоти;
- товщина 0,2; кронштейн на половину висоти;
- товщина 0,3; кронштейн на половину висоти
- сталевий анкер з терморозривною подушкою, кронштейн повної висоти;
- сталевий анкер з терморозривною подушкою, кронштейн на половину висоти.

Аналіз впливу теплових мостів у системі навісного вентильованого фасаду з урахуванням висоти кріпильних кронштейнів і застосування терморозривної подушки

Дослідження впливу термомостів на теплопровідність системи вентиляваного фасаду з урахуванням конструктивних особливостей кріпильних кронштейнів та їх матеріалів

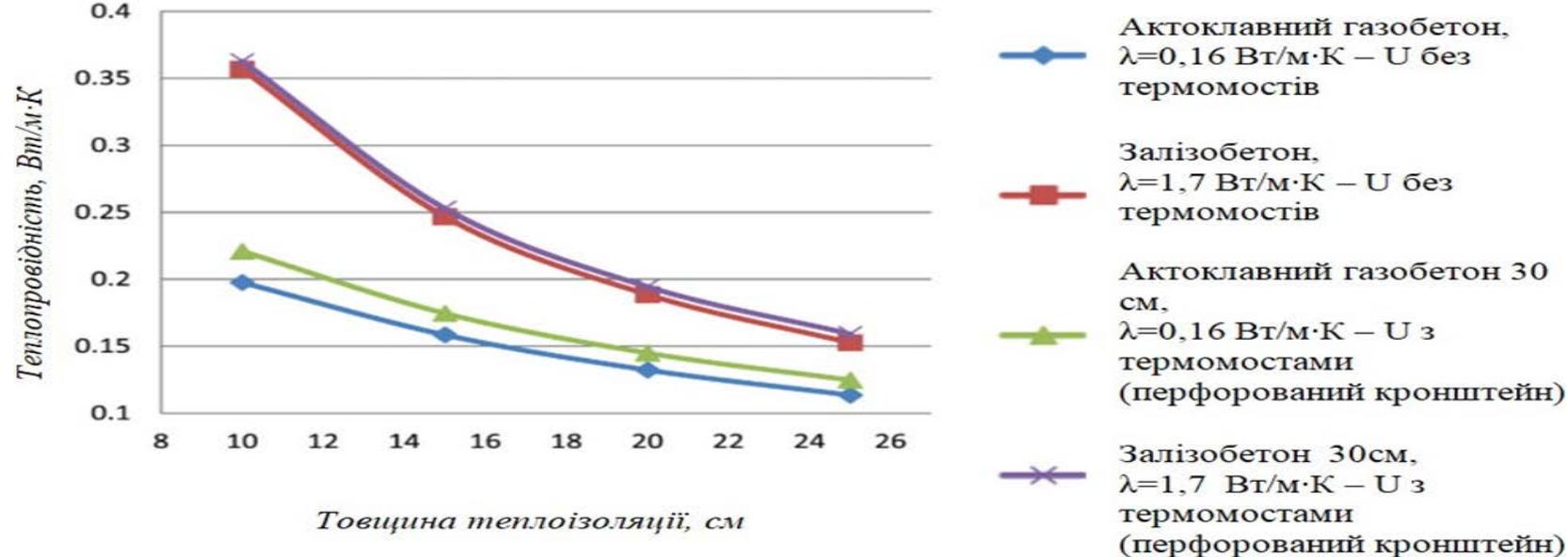


Рисунок 3.13 – Значення коефіцієнтів теплопередачі в залежності від товщини шару теплоізоляції для фасаду з урахуванням впливу додаткових теплових втрат, спричинених наявністю перфорованого кронштейна з нержавіючої сталі

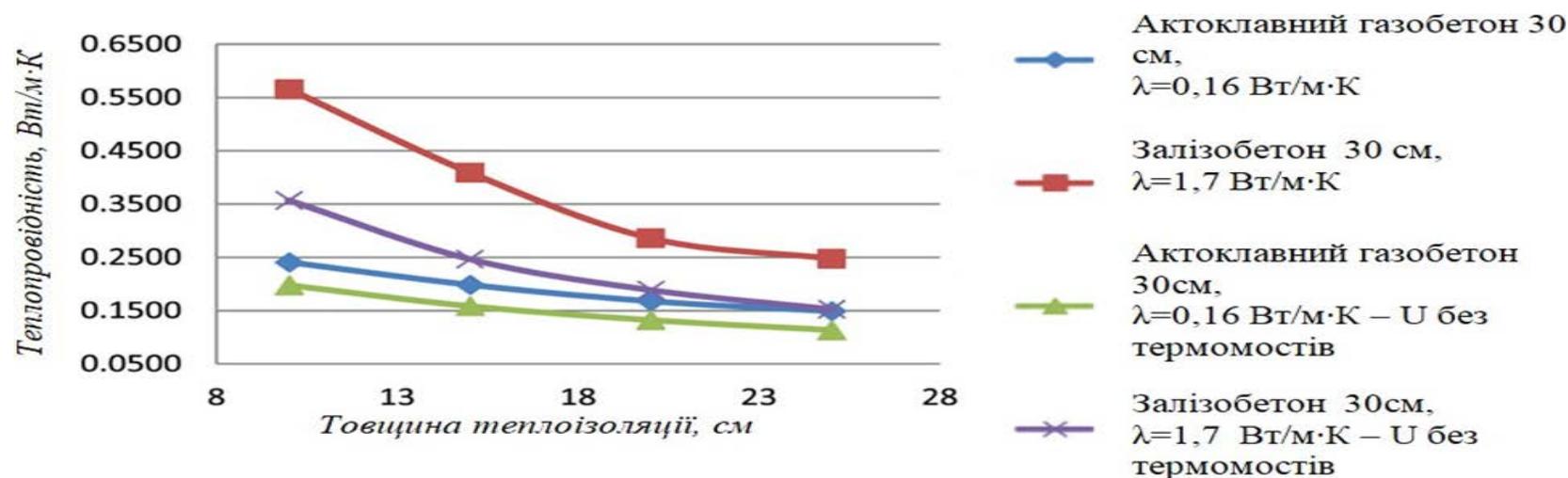


Рисунок 3.14 – Порівняльні значення коефіцієнтів теплопровідності різних типів зовнішніх стін із системами вентиляваного фасаду та кронштейнами з нержавіючої сталі й алюмінію з термопрокладками

Дослідження впливу термомостів на теплопровідність системи вентильованого фасаду з урахуванням конструктивних особливостей кріпильних кронштейнів та їх матеріалів

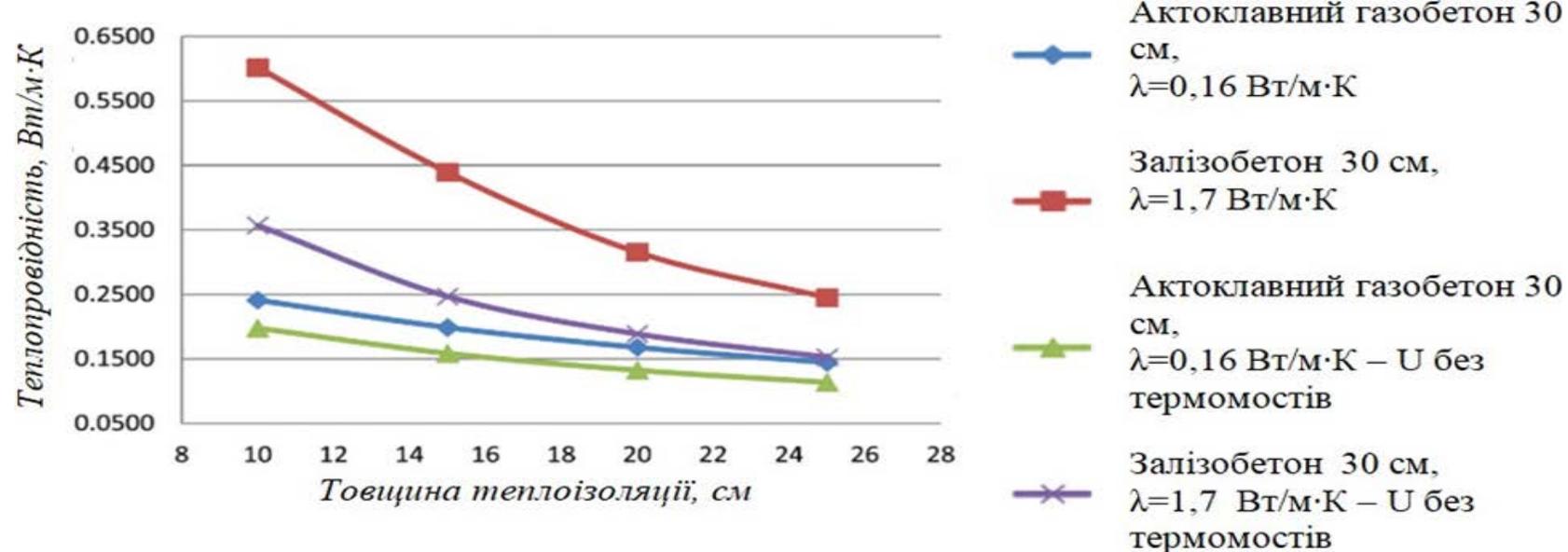


Рисунок 3.15 – Порівняльні значення коефіцієнтів теплопровідності різних типів зовнішніх стін із системами вентильованого фасаду та кронштейнами з нержавіючої сталі й алюмінію

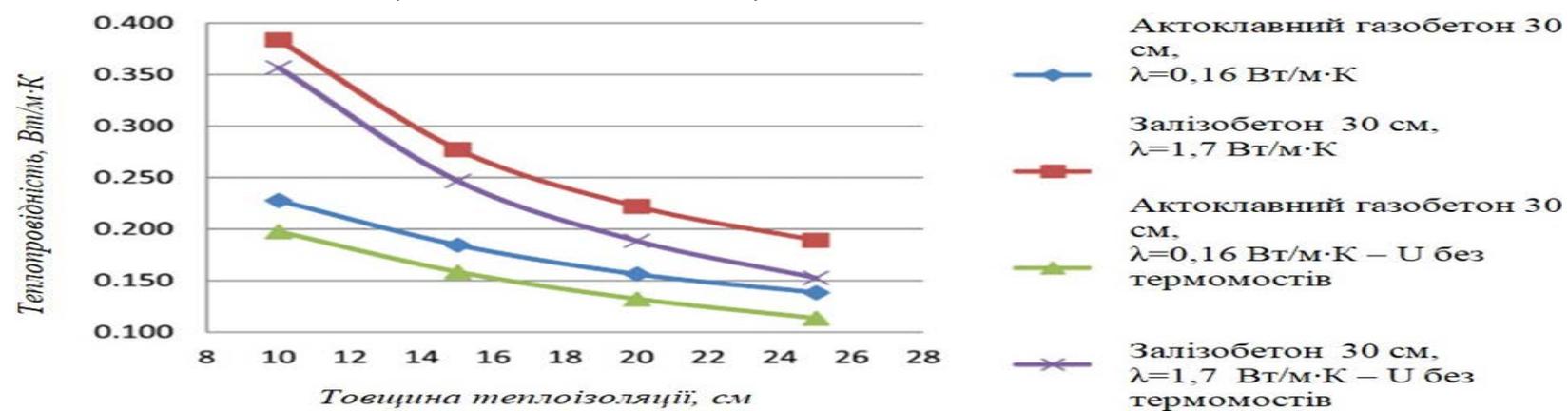


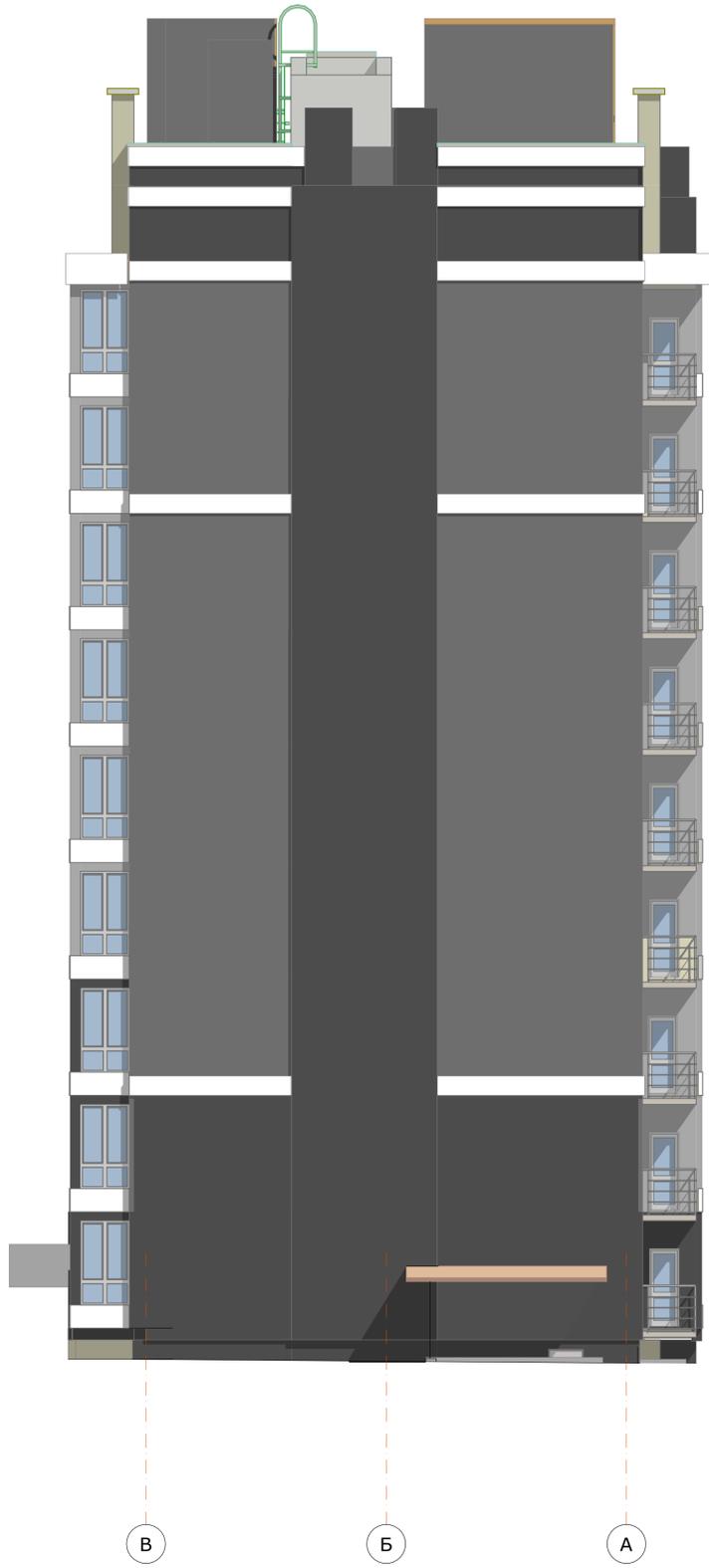
Рисунок 3.16 – Порівняльні значення коефіцієнтів теплопровідності стіни із системою навісного вентильованого фасаду з використанням перфорованих сталевих кронштейнів з нержавіючої сталі та стабілізуючих пластикових кронштейнів (термокронштейнів)

# Фасад 1-13



						08-11МКР.026-А5			
						м. Вінниця			
Зм.	Кільк.	Лист	ІР. Фак.	Підпис	Дата	Підвищення енергоефективності житлових будівель шляхом застосування ресурсозберігаючих технологій	Слово	Аркш.	Аркшів
Розробил	Майданік С. С.						п	%	18
Перевірив	Мель І. М.								
Керівник	Мель І. М.								
Нач. контролю	Маселько І. В.								
Опанист	Слободян Н. М.					Фасад 1-13		ВНТУ, гр. 25-24м	
Затвердив	Швець В. В.								

# Фасад В-А

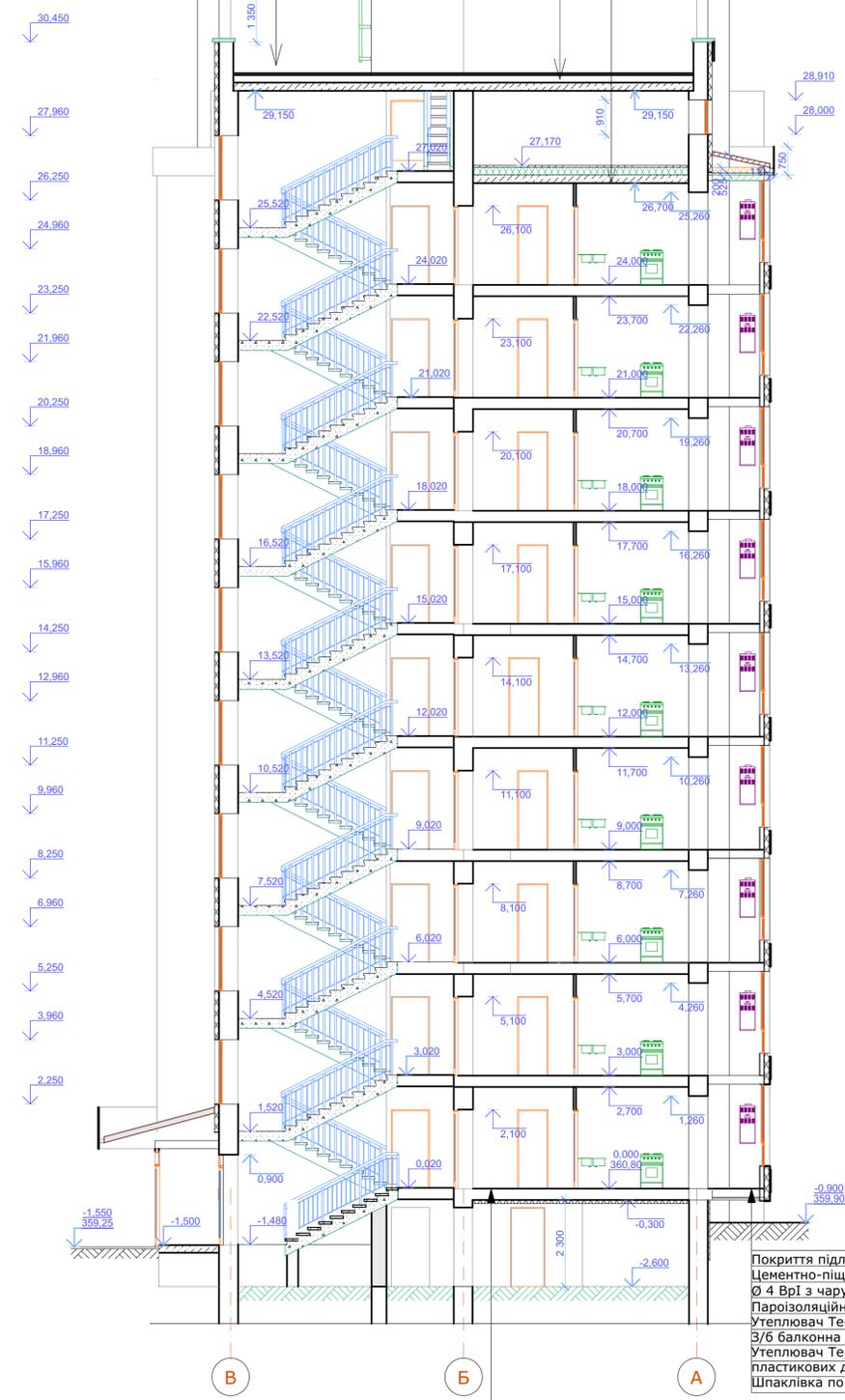


Єврорубероїд ХПП1- 1 шар  
Єврорубероїд ХПП2- 1 шар  
Цементно-піщана стяжка М150 з армуванням сіткою 4ВрІ з вічками 150\*150мм-50мм  
Керамзитовий ґравій  $\rho=600 \text{ кг/м}^3$  ГОСТ 9757-90 по нахилу від 50 до 200 мм  
Гідроізоляційна плівка  
Мінеральна вата Термолайф ТЛ Покрівля 160кг/м<sup>3</sup> 250мм  
Пароізоляційна плівка  
з/б панель перекриття 220мм

# Розріз 1-1

Єврорубероїд ХПП1- 1 шар  
Єврорубероїд ХПП2- 1 шар  
Цементно-піщана стяжка М150 з армуванням сіткою 4 ВрІ з чарунками 150\*150 мм - 50 мм  
Керамзитовий ґравій  $\rho=600 \text{ кг/м}^3$  ДСТУ БВ.2.7-17-95 по нахилу від 50 до 200 мм  
з/б панель перекриття 220мм

Цементно-піщана стяжка М150 з армуванням сіткою 4 ВрІ з чарунками 150\*150 мм - 50 мм  
Пароізоляційна плівка  
Термолайф ТЛ Підлога 150 кг/м<sup>3</sup> - 200 мм  
Пароізоляційна плівка  
З/б плита перекриття - 220 мм



Деталь утеплення віконних укосів і зовнішніх стін товщиною 510мм

Механічний з'єднувач зі сталевим стрижнем  
Мінеральна штукатурка ECOROCK  
Ґрунтовка  
Розчин ZZ-ECOROCK по склосітці  
Утеплювач Термолайф ТЛ Фасад 145 кг/м<sup>3</sup>-120 мм  
Клеючий розчин ZK-ECOROCK  
Цегляна кладка-510мм  
Вапняна штукатурка

Мінеральна штукатурка ECOROCK  
Ґрунтовка  
Розчин ZZ-ECOROCK по склосітці

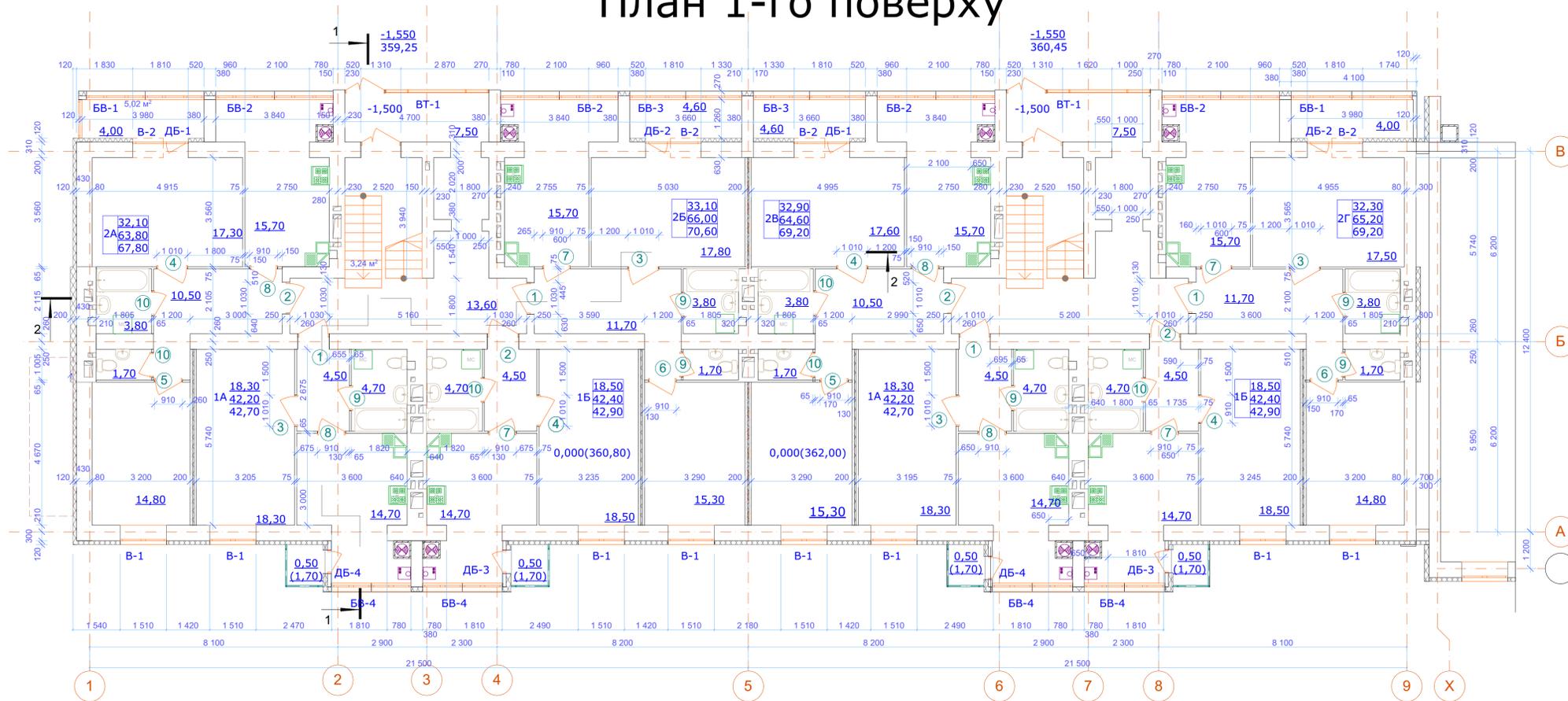
Піна монтажна "FASROCK", 135 кг/м<sup>3</sup>-20 мм  
Пінофол 6 мм  
Гіпсокартон 12,5 мм

Покриття підлоги - 10мм  
Цементно-піщана стяжка М150 з армуванням сіткою 4 ВрІ з чарунками 150\*150 мм - 50 мм  
Пароізоляційна плівка  
Утеплювач Термолайф ТЛ Підлога 150 кг/м<sup>3</sup>-50 мм  
З/б балконна плита - 150 мм  
Утеплювач Термолайф ТЛ Фасад 145 кг/м<sup>3</sup> на пластикових дюбелях 8 шт. на 1м<sup>2</sup>- 100 мм  
Шпаклівка по склосітці

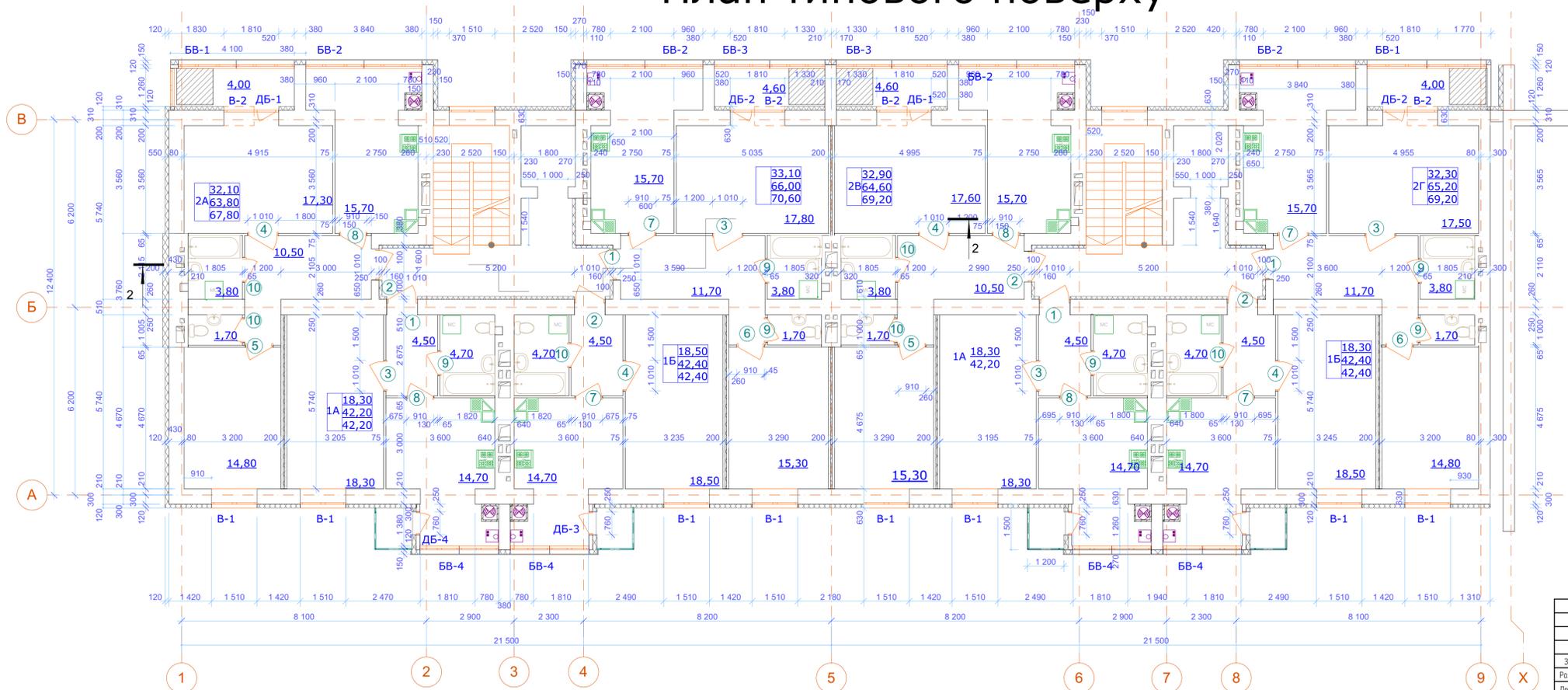
Покриття підлоги - 10мм  
Цементно-піщана стяжка М150 з армуванням сіткою 4 ВрІ з чарунками 150\*150 мм - 50 мм  
Пароізоляційна плівка  
Утеплювач Термолайф ТЛ Підлога 150 кг/м<sup>3</sup>-50 мм  
З/б балконна плита - 150 мм  
Утеплювач Термолайф ТЛ Фасад 145 кг/м<sup>3</sup> на пластикових дюбелях 8 шт. на 1м<sup>2</sup>- 100 мм  
Шпаклівка по склосітці

					08-11МКР.026-АБ				
					М. ВІННИЦЯ				
Зм.	Кільк.	Дист.	ІР Фак	Підпис	Дата	Підвищення енергоефективності житлових будівель шляхом застосування ресурсозберігаючих технологій	Слозія	Аркци	Аркциб
Розробил	Майжик С. С.						п	15	18
Перевірив	Мель І. М.								
Керівник	Мель І. М.								
Нач. контролю	Маселько І. В.								
Опонував	Слободян Н. М.					Фасад В-А, розріз 1-1			
Затвердив	Швець В. В.					ВНУЧ, зр. 25-24м			

# План 1-го поверху

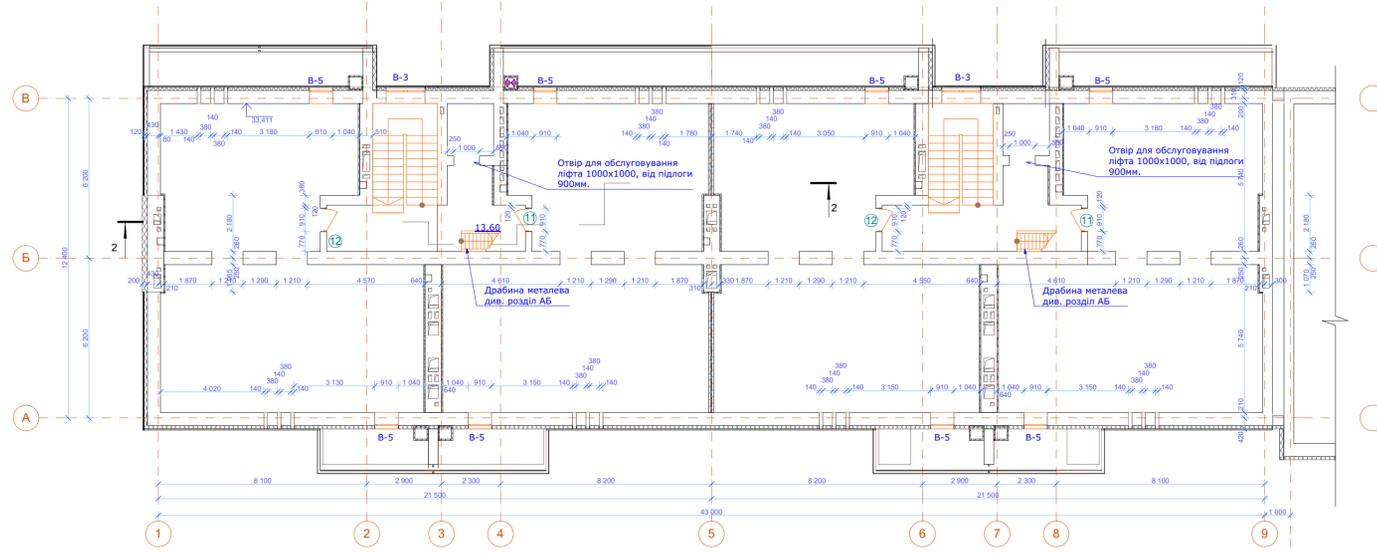


# План типового поверху

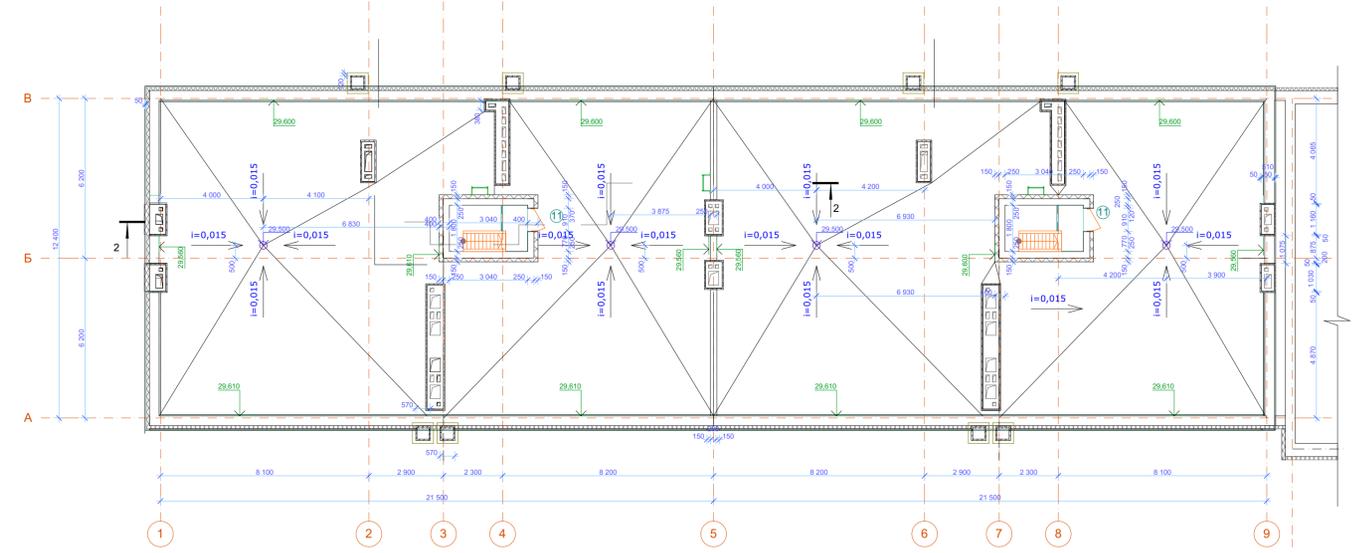


						08-11МКР.026-АБ			
						м. Вінниця			
Зм.	Кільк.	Лист	ЛР док	Підпис	Дата	Підвищення енергоефективності житлових будівель шляхом застосування ресурсозберігаючих технологій	Слова	Аркш	Аркшів
Розробив	Майжик С. С.						п	16	18
Перевірив	Мель І. М.								
Керівник	Мель І. М.								
Над. контроль	Маселько І. В.								
Опонував	Слободян Н. М.					План першого поверху, план типового поверху			
Затвердив	Швець В. В.					ВНУЧ, гр. 25-24м			

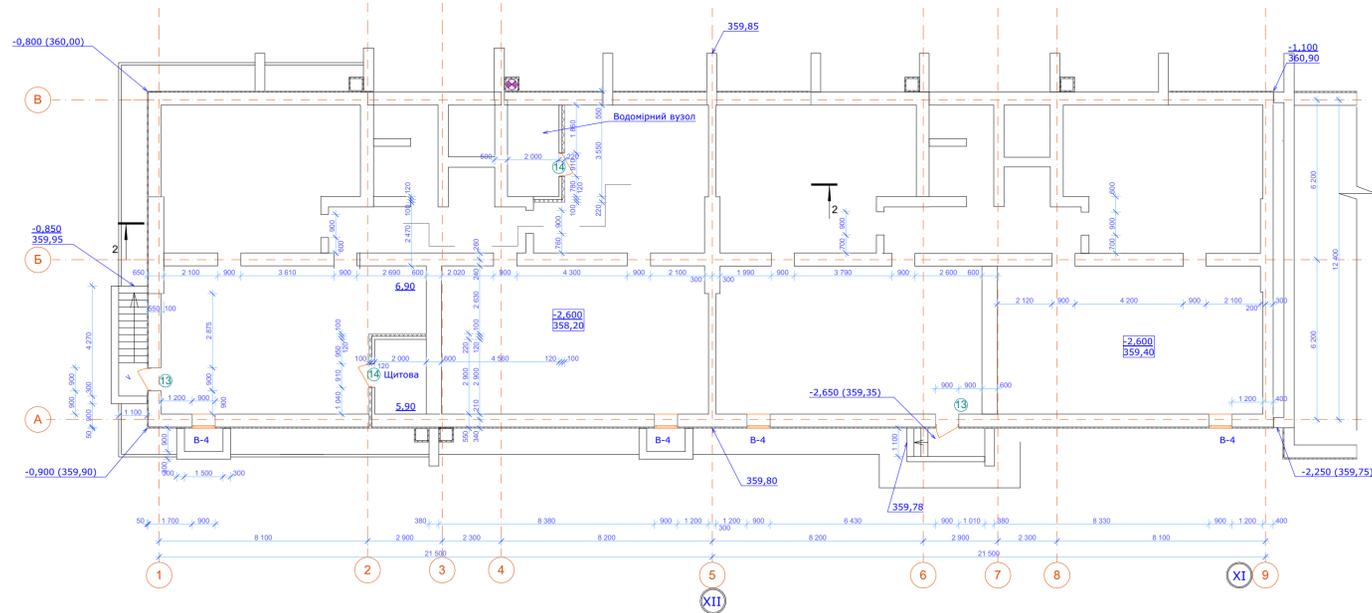
План горища



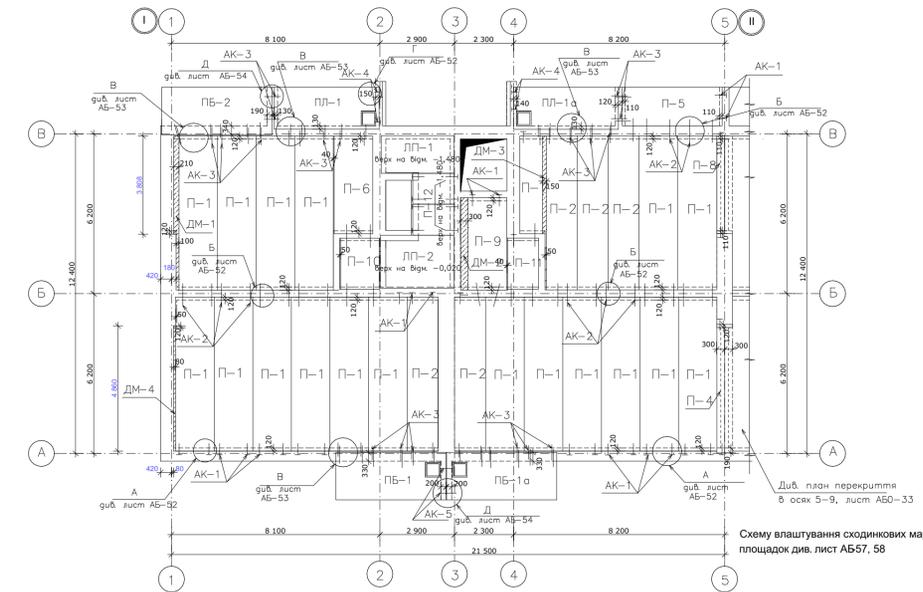
План покрівлі



План підвалу



План перекриття підвалу в осях 1-5



						08-11МКР.026-АБ			
						м. Вінниця			
Зм.	Кільк.	Лист	№ док.	Підпис	Дата	Підвищення енергоефективності житлових будівель шляхом застосування ресурсозберігаючих технологій	Слова	Аркци	Аркци
Розробил	Майданик С. С.						п	17	18
Перевірив	Мель І. М.								
Нач. контролю	Мазько І. В.								
Опаний	Слободян Н. М.					План підвалу, план перекриття в осях 1-5, план горища, план покрівлі			
Затвердив	Швець В. В.					ВНУр, гр. 25-24м			



## ВІДГУК

керівника магістерської кваліфікаційної роботи

на тему: «Підвищення енергоефективності житлових будівель шляхом застосування ресурсозберігаючих технологій»  
здобувача групи 2Б-24м Майданюка Сергія Станіславовича

Магістерська кваліфікаційна робота є актуальною і присвячена важливим питанням підвищення екологічності будівель навчальних закладів при їх реконструкції.

У процесі виконання здобувач Майданюк Сергій успішно застосовував програмні комплекси для обробки аналітичного та графічного матеріалу, виявив знання нормативної та законодавчої бази і галузі будівництва та екології. У підготовці роботи проявив ерудицію та наполегливість.

Здобувач чітко дотримувався графіку виконання магістерської кваліфікаційної роботи, вчасно представив роботу на попередньому захисті.

Результати досліджень представлені у магістерській кваліфікаційній роботі опубліковані на Міжнародній науково-технічній конференції «Енергоефективність в галузях економіки України-2025», яка відбулася у ВНТУ 19-21 листопада 2025 року. Магістерська робота повністю відповідає встановленим методичним вимогам щодо змісту, структури та оформлення.

У магістерській кваліфікаційній роботі наявні такі недоліки:

- наявні незначні недоліки в оформленні деяких конструктивних креслень на аркушах графічної частини;
- не достатньо чітко показана наукова новизна.

Проте вказані недоліки не впливають на позитивне враження від роботи.

Висновки: якість підготовки здобувача Майданюка Сергія Станіславовича відповідає вимогам освітньої програми підготовки «Промислове та цивільне будівництво» за спеціальністю 192 «Будівництво та цивільна інженерія», галузі знань 19 «Архітектура та будівництво» і при відповідному захисті заслуговує присвоєння ступеня магістра та на оцінку «С» 75 балів.

Керівник магістерської  
кваліфікаційної роботи, к.т.н., доцент



I. M. Метъ

**ВІДГУК ОПОНЕНТА**  
на магістерську кваліфікаційну роботу

на тему: «Підвищення енергоефективності житлових будівель шляхом застосування ресурсозберігаючих технологій»  
здобувача Майданюка Сергія Станіславовича

Магістерська кваліфікаційна робота спрямована на вирішення актуальної задачі підвищення енергоефективності житлових будівель шляхом застосування ресурсозберігаючих технологій у процесі термомодернізації. Робота складається з п'яти розділів пояснювальної записки та графічної частини. У першому розділі виконано аналіз сучасних наукових і нормативних підходів до проєктування та модернізації огорожувальних конструкцій. Другий розділ присвячений теплотехнічному аналізу зовнішніх стін із системами навісних вентилятованих фасадів із використанням програмного комплексу ANSYS Workbench.

У третьому розділі досліджено вплив теплових мостів на ефективність роботи вентиляваного фасаду та обґрунтовано раціональні конструктивні рішення з їх мінімізації. Технічна частина роботи містить архітектурно-будівельні та організаційно-технологічні рішення з улаштування системи вентиляваного фасаду. У п'ятому розділі виконано оцінку економічної ефективності запропонованих проєктних рішень.

Результати роботи свідчать про достатньо високий рівень фахової підготовки Майданюка С. С., уміння застосовувати сучасні інженерні методи та програмні комплекси для підвищення енергоефективності житлових будівель. Отримані результати можуть бути використані при проєктуванні та реконструкції житлового фонду.

МКР виконана у відповідності до завдання та чинних вимог, самостійно та в повному обсязі.

Недоліки роботи:

- у другому розділі надмірна описовість можна було б оптимізувати текст розділу;
- у роботі недостатня кількість порівняльних та підсумкових показників.

В цілому магістрант Майданюк С. С. відповідає вимогам освітньо-професійної програми «Промислове та цивільне будівництво», спеціальності 192 – Будівництво та цивільна інженерія» та гідна присвоєння освітнього ступню «магістр», а робота заслуговує оцінки С «добре».

Доцент кафедри ІСБ, к.т.н., доцент  
(посада, науковий ступінь, вчене звання)



Слободян Н. М.  
(ініціали, прізвище)