МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ІМ. Ю.М. ПОТЕБНІ
ЗАПОРІЗЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ

Кафедра промислового та цивільного будівництва

Кваліфікаційна робота/проект

_____другий магістерський рівень_____
(рівень вищої освіти)

на тему: Удосконалення конструктивного улаштування навісних фасадів цивільних будівель

Виконав: студент 2 курсу, групи 8.1924-пцб
спеціальності 192 Будівництво та цивільна інженерія
(код і назва спеціальності)
освітньої програми промислове і цивільне будівництво
(код і назва освітньої програми)
_____Алімов Дмитро Денисович_____
(прізвище та ініціали)

Керівник _____доц., к.т.н., Мішук К.М._____
посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали

Рецензент _____проф., д.т.н. Арутюнян І.А._____
посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали

Запоріжжя
2025

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ІМ. Ю.М. ПОТЕБНІ
ЗАПОРІЗЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ

Кафедра Промислового та цивільного будівництва
Рівень вищої освіти другий (магістерський)
(другий (магістерський) рівень)
Спеціальність 192 «Будівництво та цивільна інженерія»
(шифр і назва)
Освітня програма «Промислове і цивільне будівництво»
(шифр і назва)
Спеціалізація -
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:
завідувач кафедри *промислового та цивільного будівництва*
проф. І.А. Арутюнян
"04" 04 2025 року

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ / ПРОЕКТ СТУДЕНТОВІ (СТУДЕНТЦІ)

Алімов Дмитро Денисович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи (проекту) Удосконалення конструктивного улаштування навісних фасадів цивільних будівель
керівник роботи Мішук Катерина Миколаївна, доц., к.т.н.,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом ЗНУ від "27" 02 2025 року № *317-с*
2. Строк подання студентом кваліфікаційної роботи *грудень 2025р.*
3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи технології навісних фасадів, дані кліматичного району, характеристики об'єкта
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Вступ, розділ 1 – Техніко-теоретичні аспекти влаштування навісних фасадів цивільних будівель; розділ 2 – Дослідження технічних рішень, що застосовуються при влаштуванні фасадних систем; розділ 3 – Розробка техніко-технологічних рішень щодо влаштування навісних фасадних систем. Висновки.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'яз... креслень) 8 листів

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи магістра

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийн...
Розділ 1	Мішук К.М., доц. кафедри		
Розділ 2	Мішук К.М., доц. кафедри		
Розділ 3	Мішук К.М., доц. кафедри		

7. Дата видачі завдання

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Прим...
1	Розділ 1	1.09.2025 - 13.10.2025	
2	Розділ 2	14.10.2025 – 10.11.2025	
3	Розділ 3	11.11.2025 – 30.11.2025	

Студент _____ (підпис) Алімов Д.Д. (прізвище та ініціали)

Керівник роботи (проекту) _____ (підпис) Мішук К.М. (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер _____ (підпис) Данкевич Н.О. (ініціали та прізвище)

АНОТАЦІЯ

Алімов Дмитро Денисович. Удосконалення конструктивного улаштування навісних фасадів цивільних будівель.

Кваліфікаційна випускна робота для здобуття ступеня вищої освіти магістра за спеціальністю 192 Будівництво та цивільна інженерія, науковий керівник К.М. Мішук. Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні Запорізького національного університету, кафедра промислового та цивільного будівництва, 2025.

У роботі досліджено сучасні техніко-теоретичні підходи до влаштування навісних фасадів цивільних будівель та проведено комплексний аналіз конструктивних рішень, матеріалів і вузлів кріплення. Особливу увагу приділено оцінці теплотехнічних властивостей фасадних систем, їх енергоефективності, експлуатаційної надійності та впливу конструктивних факторів на довговічність огороджувальних елементів. На основі порівняння існуючих систем вентильованих фасадів і результатів технологічного аналізу запропоновано техніко-технологічні заходи, спрямовані на удосконалення каркасних елементів, оптимізацію монтажних процесів та підвищення ефективності експлуатації облицювальних систем. Розроблені пропозиції дозволяють покращити теплозахисні показники фасадів, мінімізувати типові дефекти та забезпечити раціональність конструктивних рішень при новому будівництві й реконструкції цивільних об’єктів.

Ключові слова: навісні фасадні системи, енергоефективність будівель, теплоізоляційні матеріали, технологія монтажу фасадів.

Список публікацій магістранта:

1. Алімов Д.Д., Мішук К. М. Удосконалення конструктивного улаштування навісних фасадів цивільних будівель. *Інженерні інновації та розбудова національної економіки* : матеріали II Міжнар. наук.-практ. конф. Інженерного навчально-наукового інституту ім. Ю. М. Потебні (м. Запоріжжя, 15–16 трав. 2025 р.). Одеса : Видавничий дім «Гельветика», 2025. С. 551–552.

ABSTRACT

Alimov Dmitry Denisovich. Improvement of structural design of curtain wall facades in civil buildings.

Qualified graduation work to achieve a higher level of master's degree in the specialty 192 Life and civil engineering, scientific ceramics specialist K.M. Mishuk. Engineering Basic Science Institute named after. Yu.M. Potebni Zaporizhzhya National University, Department of Industrial and Civil Life, 2025.

The study examines modern technical and theoretical approaches to the design of curtain wall facades for civil buildings and provides a comprehensive analysis of structural solutions, materials, and fastening nodes. Particular attention is paid to evaluating the thermal properties of facade systems, their energy efficiency, operational reliability, and the influence of structural factors on the durability of enclosure elements. Based on a comparison of existing ventilated facade systems and the results of technological analysis, technical and technological measures are proposed to improve frame elements, optimize installation processes, and enhance the operational performance of cladding systems. The proposed solutions improve the thermal protection characteristics of facades, minimize common defects, and ensure rational structural design for both new construction and reconstruction of civil buildings.

Keywords: curtain wall systems, building energy efficiency, thermal insulation materials, facade installation technology.

List of postgraduate publications

1. Алімов Д.Д., Мішук К. М. Удосконалення конструктивного улаштування навісних фасадів цивільних будівель. *Інженерні інновації та розбудова національної економіки* : матеріали II Міжнар. наук.-практ. конф. Інженерного навчально-наукового інституту ім. Ю. М. Потебні (м. Запоріжжя, 15–16 трав. 2025 р.). Одеса : Видавничий дім «Гельветика», 2025. С. 551–552.

ЗМІСТ

	ВСТУП	5
1	**ТЕХНІКО – ТЕОРЕТИЧНІ АСПЕКТИ ВЛАШТУВАННЯ НАВІСНИХ ФАСАДІВ ЦИВІЛЬНИХ БУДІВЕЛЬ**	9
1.1	Аналіз застосування конструкцій навісних фасадів до і за кордоном	9
1.2	Теоретичні основи монтажу конструкцій навісних фасадів	28
2	**ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ, ЩО ЗАСТОСОВУЮТЬСЯ ПРИ ВЛАШТУВАННЯ ФАСАДНИХ СИСТЕМ**	31
2.1	Дослідження та оцінка конструктивного пристрою та вузлів кріплення навісних фасадів	31
2.2	Дослідження та оцінка матеріалів, що застосовуються в конструкціях НФС для цивільних будівель	50
2.2.1	Матеріали для теплоізоляції	50
2.2.2	Гідроізоляція фасаду	55
2.2.3	Повітряний прошарок як елемент системи НФС	59
2.2.4	Облицювальні матеріали	61
3	**РОЗРОБКА ТЕХНІКО – ТЕХНОЛОГІЧНИХ РІШЕНЬ ЩОДО ВЛАШТУВАННЯ НАВІСНИХ ФАСАДНИХ СИСТЕМ**	64
3.1	Пропозиції щодо вдосконалення конструктивного устрою НФС	64
3.2	Пропозиції щодо підвищення ефективності виконання робіт з монтажу	73
3.3	Оцінка ефективності запропонованих заходів	77
	ВИСНОВКИ	80
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	82

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. Сучасний етап розвитку будівництва характеризується підвищеними вимогами до енергоефективності, довговічності та архітектурної виразності огороджувальних конструкцій цивільних будівель. Зростання вартості енергоресурсів, необхідність зниження тепловтрат та відповідність оновленим нормам щодо енергоефективності будівель обумовлюють широке застосування навісних фасадних систем як одного з найбільш ефективних конструктивно-технологічних рішень зовнішнього захисту споруд. Навісний фасад забезпечує одночасно теплову, вологісну, акустичну та вітрозахисну стабільність огороджувальних конструкцій, що дозволяє значно підвищити експлуатаційні характеристики будівлі протягом усього життєвого циклу.

Для України питання впровадження сучасних систем навісних фасадів є особливо актуальним у контексті потреби підвищення енергоефективності житлового та громадського фонду, значна частина якого була зведена у період, коли параметри теплового захисту практично не враховувалися. Низька тривкість існуючих оздоблювальних шарів, їхня невідповідність сучасним кліматичним навантаженням та необхідність масштабної термомодернізації визначають потребу у дослідженні конструктивних, технологічних і експлуатаційних аспектів навісних фасадів як інструмента підвищення енергоефективності будівель.

Водночас розвиток технологій вентильованих фасадів супроводжується появою широкого спектра матеріалів та конструкцій, що відрізняються теплотехнічними властивостями, стійкістю до зовнішніх впливів та вартісними показниками. Порівняльний аналіз існуючих систем демонструє значну різнорідність конструктивних рішень, що потребує їх наукового узагальнення та оцінки ефективності з позицій довговічності та енергетичного балансу будівель. Особливої уваги потребують питання оптимізації вузлів кріплення, вибору теплоізоляційних матеріалів, забезпечення

повітропроникності та відсутності «містків холоду», які істотно впливають на фактичні показники теплового захисту фасаду.

Суттєвим чинником актуальності є також необхідність удосконалення технології монтажу навісних фасадів. На практиці значна кількість дефектів виникає внаслідок недотримання вимог до гідроізоляції, порушення геометрії монтажу, неправильного підбору кронштейнів та профілів, що призводить до зниження енергоефективності й передчасного руйнування системи. У зв’язку з цим дослідження техніко-технологічних рішень, спрямованих на підвищення надійності кріплення та оптимізацію монтажних процесів, є важливим завданням для інженерної практики та нормативного забезпечення будівництва.

Додаткову актуальність теми зумовлює глобальна тенденція до використання екологічно безпечних матеріалів, адаптивних фасадних систем та інтелектуальних технологій контролю мікроклімату. Навісні фасади, завдяки своїй модульності та можливості інтеграції сучасних матеріалів, створюють широкі можливості для впровадження інноваційних рішень у цивільному будівництві.

Таким чином, дослідження конструктивних особливостей, матеріалів, вузлів кріплення та технологічних аспектів монтажу навісних фасадів є своєчасним і необхідним для вдосконалення сучасних систем енергоефективного будівництва. Розробка науково обґрунтованих рекомендацій щодо удосконалення навісних фасадних систем сприятиме підвищенню енергоефективності, надійності та довговічності будівель, що визначає важливість і практичну значущість цієї теми.

Метою магістерської роботи є розроблення та наукове обґрунтування конструктивних і технологічних рішень, спрямованих на підвищення енергоефективності, довговічності та експлуатаційної надійності навісних фасадних систем шляхом удосконалення їх конструктивних елементів, вузлів кріплення та технології монтажу на основі аналізу сучасних матеріалів,

технічних рішень і практики застосування вентильованих фасадів у цивільному будівництві.

Об’єктом дослідження є конструктивні системи навісних фасадів цивільних будівель та їх робота в умовах експлуатаційних навантажень.

Предмет дослідження конструктивні елементи, вузли кріплення, теплоізоляційні та облицювальні матеріали, а також технологічні процеси монтажу навісних фасадних систем, що визначають їхню ефективність, енергоощадність і довговічність.

Для досягнення поставленої в процесі дослідження мети вирішені наступні **завдання**:

1. Проаналізувати сучасні конструктивні схеми навісних фасадів, їх класифікацію, сферу застосування та техніко-експлуатаційні характеристики.
2. Дослідити особливості роботи основних вузлів кріплення та визначити чинники, що впливають на надійність і довговічність фасадних систем.
3. Оцінити властивості теплоізоляційних, гідроізоляційних та облицювальних матеріалів, застосовуваних у вентильованих фасадах.
4. Визначити типові дефекти та недоліки у конструктивному й технологічному виконанні фасадів, а також причини їх виникнення.
5. Розробити техніко-технологічні пропозиції щодо удосконалення конструктивного улаштування та процесу монтажу навісних фасадів.
6. Провести оцінку ефективності запропонованих рішень щодо підвищення енергоефективності та експлуатаційної стійкості фасадних систем.

Методи дослідження аналітичний огляд науково-технічних джерел; порівняльний аналіз конструктивних рішень; систематизація властивостей фасадних матеріалів; структурно-функціональний аналіз вузлів кріплення; техніко-технологічне оцінювання монтажних процесів; елементи теплотехнічного аналізу щодо впливу конструктивних факторів на енергоефективність фасадних систем.

Наукова новизна полягає в обґрунтуванні та пропозиції удосконалених конструктивно-технологічних рішень навісних фасадних систем, що враховують вплив вузлів кріплення, параметрів повітряного прошарку та особливостей застосовуваних матеріалів на теплотехнічні характеристики та довговічність фасаду. У роботі вперше систематизовано критичні конструктивні недоліки навісних фасадів у контексті експлуатаційної надійності та визначено оптимальні підходи до їх усунення.

Практична цінність: отримані результати можуть бути використані при проектуванні, реконструкції та модернізації навісних фасадних систем у цивільному будівництві, дозволяючи підвищити їх енергоефективність, знизити ризик виникнення конструктивних дефектів, оптимізувати монтажні процеси та продовжити строк експлуатації фасадів. Запропоновані рекомендації можуть слугувати основою для вдосконалення технічних регламентів, технологічних карт і проєктних рішень у сфері фасадного будівництва.

Апробація результатів магістерської роботи.

Алімов Д.Д., Мішук К. М. Удосконалення конструктивного улаштування навісних фасадів цивільних будівель. *Інженерні інновації та розбудова національної економіки* : матеріали II Міжнар. наук.-практ. конф. Інженерного навчально-наукового інституту ім. Ю. М. Потебні (м. Запоріжжя, 15–16 трав. 2025 р.). Одеса : Видавничий дім «Гельветика», 2025. С. 551–552.

Структура і об’єм магістерської роботи. Магістерська робота складається з вступу, трьох розділів, висновку, списку використаних джерел. Повний об’єм магістерської роботи складає 84 сторінок тексту, у тому числі 32 рисунки, 14 таблиць. Список використаних джерел містить 40 найменувань.

1 ТЕХНІКО – ТЕОРЕТИЧНІ АСПЕКТИ ВЛАШТУВАННЯ НАВІСНИХ ФАСАДІВ ЦИВІЛЬНИХ БУДІВЕЛЬ

1.1 Аналіз застосування конструкцій навісних фасадів до і за кордоном

Тепловий захист – одна з найбільш важливих характеристик будівлі, що обґрунтовує її енергоємність відповідно до кліматичних умов регіону. Тому в даний час для підтримки нормованого обсягу теплонадходжень у приміщення повсюдно використовують зовнішню теплоізоляцію огороджувальних елементів.

Дослідження ринку показали, що попит на влаштування ізолюючих оболонок житлових та громадських об'єктів у наступні 5 – 7 років лише зростатиме (рисунок 1.1).

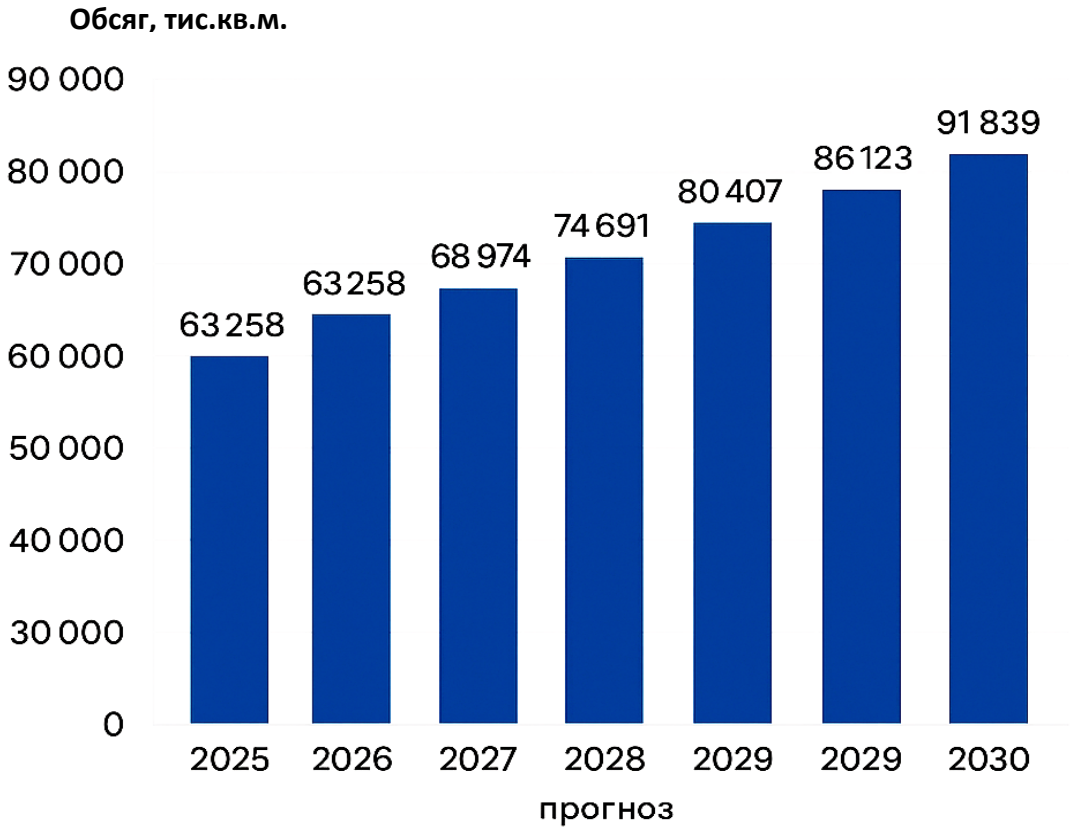


Рисунок 1.1 – Прогнозоване зростання пропозицій щодо використання навісних фасадів

На сьогоднішній день в Україні та за кордоном відомо більше 20 систем утеплення із застосуванням конструкцій навісного фасаду. Всі ці системи апробовані і знайшли широке застосування при будівництві та капітальному ремонті житлових та цивільних будівель. Принциповий склад конструкції систем однаковий, різниця полягає лише у видах та типах кріплення, застосуванні різного виду облицювального матеріалу, в геометрії несучого каркасу фасаду [12].

На діаграмі нижче (рисунок 1.2) представлено розподіл найпоширеніших конструктивних схем загалом ринку.

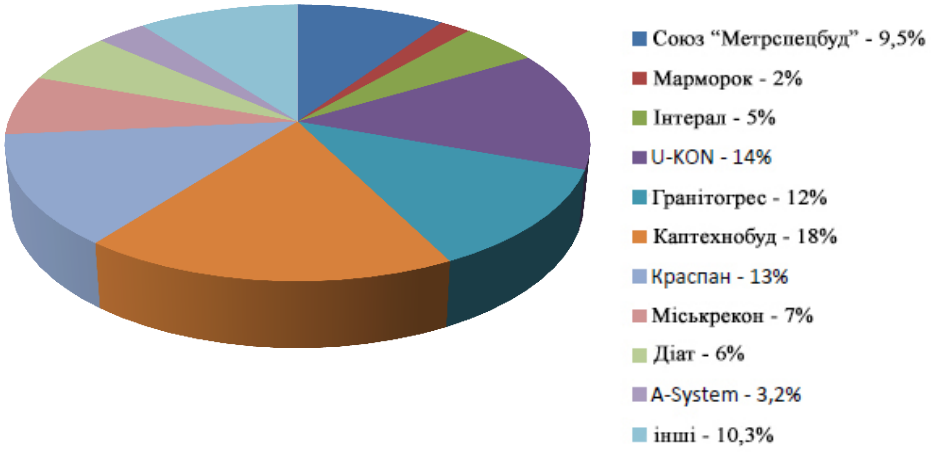


Рисунок 1.2 – Співвідношення підконструкцій навісної теплоізоляції

Тепер розглянемо докладніше деякі з них, вказавши відмінні риси.

Система «Союз «Метрспецбуд».

Каркасна система даної конструкції складається з основних та проміжних вертикальних та горизонтальних профілів, матеріал конструкцій – алюміній та низьколеговані сталі.

Теплоізоляційний шар являє собою кашировані мінераловатні плити, з'єднані з зовнішньою стіною за допомогою тарілчастих дюбелів.

Зовнішній екран навісного фасаду може бути виконаний з плит природного каменю, керамограніту та склофібробетону.

При встановленні облицювальних плит із натурального матеріалу застосовується спеціальна система кріплень: вертикальні полоси профілю є

пази для встановлення облицювання.

Інші види облицювального матеріалу кріпляться типовим способом за допомогою клямерів із алюмінію або нержавіючої сталі.

Особливість даної системи полягає у формуванні пластики фасаду при монтажі зовнішнього шару різній відстані та під різним кутом від зовнішньої стіни будівлі та створенні складних архітектурних форм, завдяки спеціальному каркасу та застосуванню плит нестандартних розмірів.

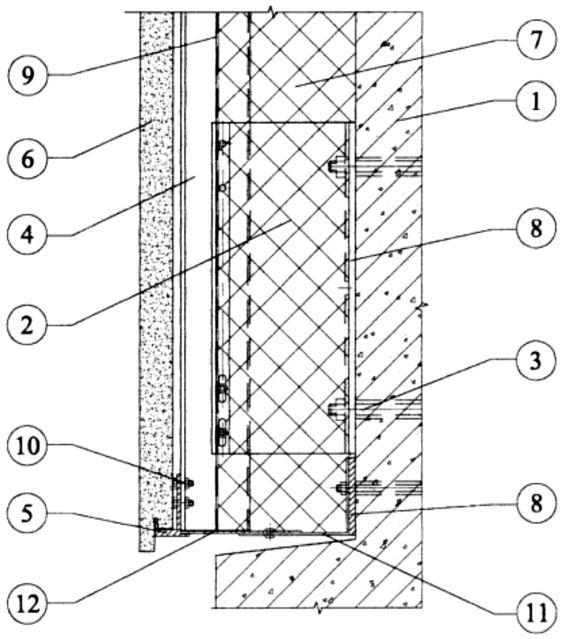


Рисунок 1.3 – Система «Метрспецбуд»

1 - основа, 2 - кронштейн, 3 - анкер, 4 - вертикальний профіль, 5 - горизонтальний профіль, 6 - облицювання, 7 - теплоізоляція, 8 - паронітова прокладка, 9 - вітровологозахисна мембрана, 10 - болт, 11 - куточок, 12 - перфорована пластина

Система «Марморок».

Основою каркасу даної системи є наступний набір елементів: кронштейни, вертикальні та горизонтальні профілі. На вертикальному профілі з кроком 100 мм розташовані гачки та смужки для кріплення облицювання, шар теплоізоляції фіксується лише за допомогою зв’язкової системи профілів без додаткового кріплення у вигляді дюбелів. Після кріплення профілів

каркаса в отримані комірки укладається теплоізолюючий шар. Потім конструкція накривається вітровологозахисною плівкою та повторно зміцнюється другим шаром каркасу, тим самим забезпечується надійна фіксація шару, що утеплює. Для облицювальних робіт застосовують плитку «Марморок», виготовлену з кам'яної крихти на цеметному в'яжучому з гідрофобним зовнішнім шаром. У місці кріплення облицювальна плита має спеціальну складку для надійної фіксації на підставі навісного фасаду.

Особливість даної системи полягає у розмаїтті колірних та конструктивних рішень окремих елементів. Завдяки навісному фасаду такого типу можна обрамляти віконні та дверні отвори, карнизи, шатрові ділянки дахів. Елементи оформлення виготовляються з оцинкованої сталі полімерним фарбуючим пігментом.

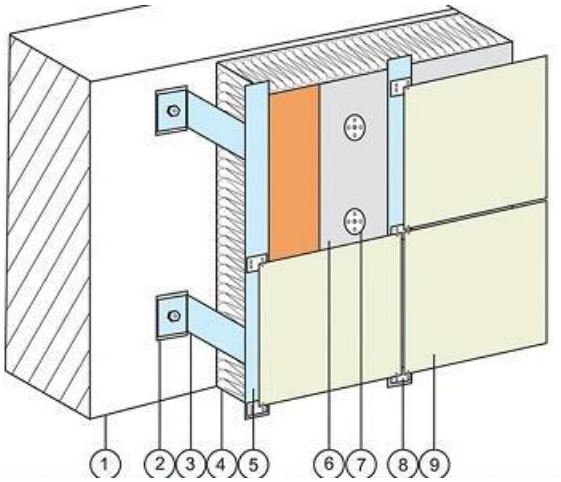


Рисунок 1.4 - Система «Марморок»:

1 - основа; 2 - паронітова прокладка; 3 - кронштейн з анкерним кріпленням; 4 – мінеральна вата, 5 - вертикальний профіль, 6 - вітровологозахисна мембрана, 7 - дюбель, 8 - клямер, 9 - керамограніт

Система «ІНТЕРАЛ»

Кронштейни та вертикальні профілі складають основу каркаса навісного фасаду, що несе. Залежно від матеріалу застосовуваних облицювальних елементів існує два типи кронштейнів:

- «С-подібний» із прапорцем;

- «L-подібний».

Також для обходу укосів отворів та кутових стиків плит застосовують спеціальні кронштейни.

Типи вертикальних профілів також різноманітні, у перерізі вони мають відповідний вигляд:

- «L-подібний»;
- «Т-подібний»;
- «П-подібний»;
- «Е-подібний»;
- з квадратним профілем.

Теплоізоляційний шар представлений мінераловатними плитами із каптованою поверхнею.

Вологозахист та утеплювач кріпляться до матеріалу основи за допомогою тарілчастих дюбелів.

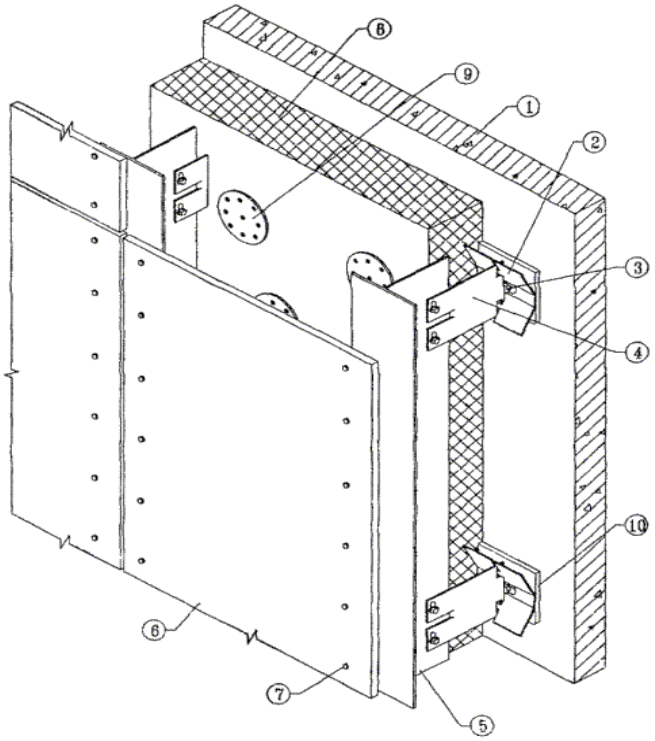


Рисунок 1.5 – Система «ІНТЕРАЛ»:

1 - основа, 2 - «С-подібний» кронштейн з прапорцем, 3 - паронітова прокладка, 4 - клямер, 5 - горизонтальний профіль, 6 - фасадна плита, 7 - дюбель, 8 - утеплювач, 9 - паронітова прокладка

Матеріал облицювальних покриттів досить широкий: фібробетон, касетні панелі, алюмінієві листи, природні матеріали.

Способи кріплення облицювання суттєво різняться: для кріплення листів фібробетону застосовують саморізи або заклепки з оцинкованої сталі, касетні панелі кріплять за допомогою втулок на елементи вертикального каркаса, алюмінієві листи – клепками на спеціальний вертикальний профіль П-подібного перерізу, а граніт та інші природні матеріали встановлюють допомогою клямерів відкритим або закритим способом.

Відмінна риса даної конструкції полягає в наступному - завдяки застосуванню в облицювання металевих листів існує можливість вигинати та вирізати різні архітектурні форми.

Система «U-KON».

Кріпильна система представлена профілями, кронштейнами, салазками та дренажами, виконаними із нержавіючої сталі. Принципова конструктивна схема має такий вигляд: вертикальні профілі монтуються за допомогою кронштейнів на стіну будівлі, що несе, горизонтальні – за допомогою клепкового механізму.

Для цієї зміни навісного фасаду використовують три види кронштейнів:

- здатні сприймати власну вагу;

- враховуючи вітрові навантаження на фасад;

- які сприймають горизонтальне навантаження листів облицювання, що дозволяють враховувати температурні деформації профілів за зміни умов навколишнього середовища.

Санки застосовуються для можливості здійснення «усадкового руху» конструкції при жорсткому закріплення профілів.

Залежно від матеріалу та способу кріплення облицювання застосовуються вертикальні профілі П-подібного та двотаврового перерізів.

Для лицьової частини фасаду застосовують композитні матеріали (листи) марок «Alucobond» та «Dibond» з різною зовнішньою поверхнею, а також листовим металом, керамограніт. Установка облицювальної поверхні

здійснюється за допомогою притискних профілів або заклепок.

Унікальність даного виду навісного фасаду у можливості виготовлення об'ємних конструкцій будь-якої складності завдяки фрезерування та згину композитних панелей.

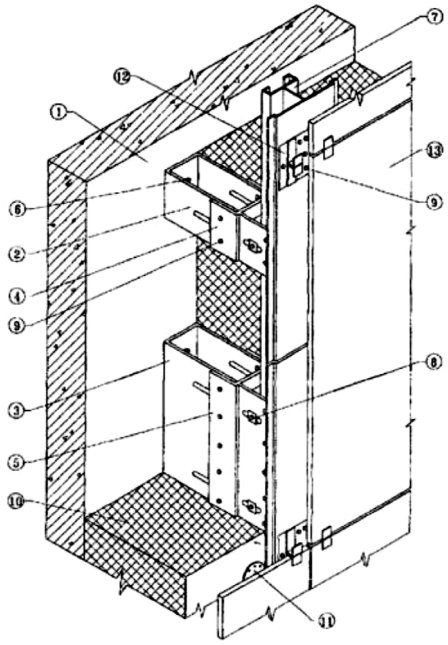


Рисунок 1.6 – Система «U-KON»:

1 - основа; 2, 3 - П-подібний профіль, 4 - вертикальний профіль,

5 - пластина, 6 - болт, 7 - вертикальний профіль, 8 - дюбель, 9 - анкер,

10 - утеплювач, 11 - паронітове прокладання, 12 - санки,

13 - натуральний камінь

Системи «Гранітогрес» та «Каптехнобуд».

Відсутність горизонтальних профілів у конструктиві навісного фасаду відрізняє цю систему від решти систем.

Зовнішні плити фасаду кріпляться на вертикальні профілі за допомогою пружного ущільнювача, морозостійкого каучуку, крім вертикальних та касетних панелей. Система кріплення може бути як відкритої за допомогою клямерів, так і прихованої – за допомогою саморозпірних гвинтів, встановлених у скоби профілю. Також можливий спосіб навішування фасадів касетних панелей облицювання.

Матеріал кріпильних деталей – пресований алюміній або алюмінієвий лист.

Способи оздоблення фасаду:

- керамограніт;
- плити з фібробетону з напиленням крихти з натурального каменю;
- алюмінієві панелі;
- багатошарові алюмо-пластикові матеріали;
- касетні панелі.

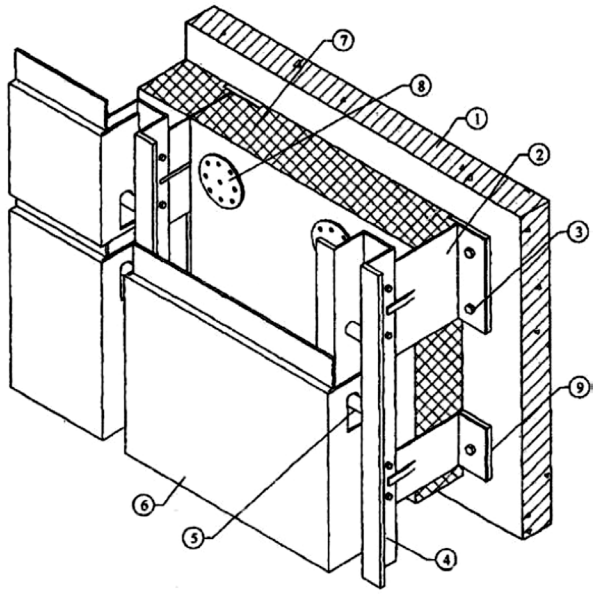


Рисунок 1.7 - Системи «Гранітогрес» та «Каптехнобуд»:
1 - основа, 2 - скоба профілю, 3 - саморозпірний гвинт, 4 - вертикальний профіль, 5 - механізм, що навішує, 6 - панель, 7 - утеплювач, 8 - паронітова прокладка

Система «Краспан».

Особливістю даного типу навісного фасаду є застосування в облицювання плит із пресованих волокнисто-цементних в'яжучих. Дані матеріали випускаються двох видів з гладкою зовнішньою поверхнею в різноманітних колірних рішеннях і натуральною кам'яною крихтою, створюючи поверхню природного матеріалу.

Установка плит здійснюється на каркас із вертикальних та горизонтальних профілів за допомогою саморізів та заклепок через гумову

прокладку. Перетин горизонтального кріплення може бути «Г-подібне» або «П-подібне», вертикальне кріплення виготовляється цілого або половинчастого типорозміру, також виробляють спеціальні фасонні частини для кутового з'єднання, укосів, зливів та прорізів.

Основні вимоги системи:

- елементи вертикального кріплення не повинні з'єднуватись між собою;

- кромки облицювальних плит повинні збігатися зі стиками каркаса по висоті;

- шви, утворені під час монтажу фасадів на стиках стін, закриваються металевими накладками в кольоровій гамі облицювальних плит

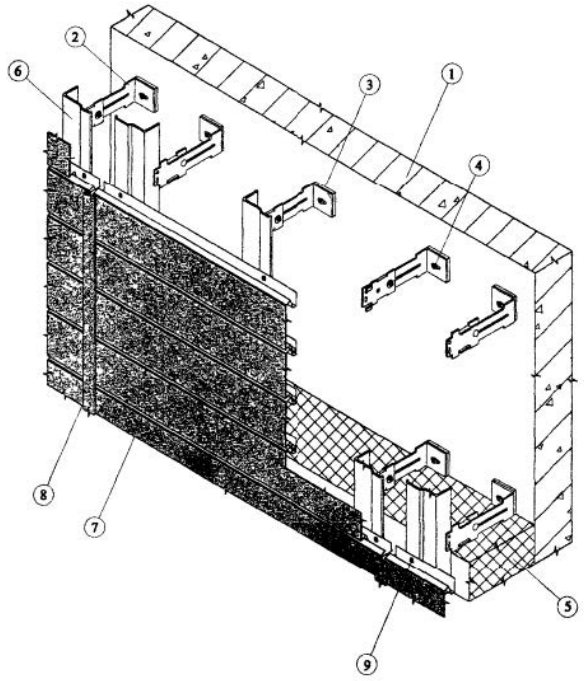


Рисунок 1.8 - Система «Краспан»

1 – основа, 2 – кронштейн, 3 – паронітова прокладка, 4 – анкерний болт, 5 – утеплювач, 6 – вертикальний Г-подібний профіль, 7 – фасадна панель, 8 – фасонний елемент закритого вертикального типу, 9 – шуруп-саморіз

Унікальність конструкції полягає у відсутності наступних кріпильних елементів: кронштейни та горизонтальні профілі, замість них основне навантаження приймають на себе анкерні шпильки з різьбленням, вмонтовані

у зовнішню стіну за допомогою дюбеля. При кріпленні утеплюючого шару використовують пластину - шайбу з морозостійкої гуми, а на вільному кінці шпильки розташовується фігурна пластина з гайкою, до якої приєднується болтами вертикальний профіль. Плити облицювання монтуються на гачки вертикального каркасу. Щоб уникнути перевищення проєктного зусилля під час монтажу в системі використовується захисна втулка.

При встановленні навісного фасаду такого типу на об’єктах складної архітектури додатково використовуються різні кріпильні металеві вироби в місцях примикання балконів, лоджій та парапетів.

Матеріал облицювальної складової фасаду виготовляється з дрібнозернистого бетону з гідрофобним покриттям [22].

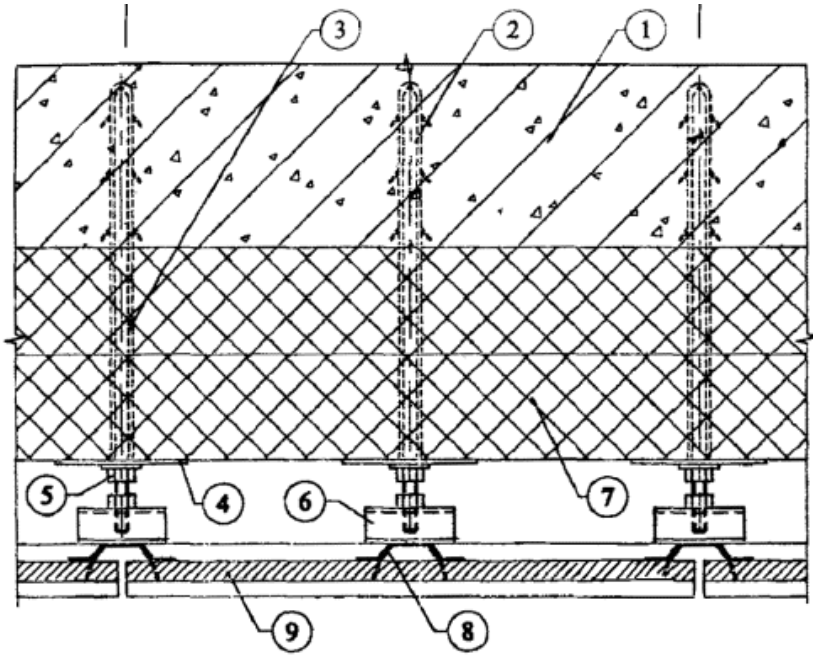


Рисунок 1.9 – Система «Міськрекон»

1 – основа, 2 – анкерна шпилька, 3 – дюбель, 4 – шайба, 5 – пластина, 6 – вертикальний профіль, 7 – утеплювач, 8 – втулка, 9 – фасадна плита

За результатами проведеного аналізу виявлено відмінні риси основних конструктивних схем навісного фасадного утеплення, що представлені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 - Переваги та недоліки найбільш поширених в Україні конструкцій навісного утеплення

Конструктивна схема	Переваги	Недоліки
Союз «Метрспецбуд»	- Висока архітектурна варіативність завдяки можливості формувати нерівну пластику фасаду. - Сумісність із широким спектром облицювальних матеріалів (камінь, керамограніт, бетонні плитки). - Надійність кріплення та хороша вітростійкість.	- Значна металоємність каркаса → підвищена вартість системи. - Наявність містків холоду у вузлах кронштейнів. - Ускладнений монтаж на нерівних основах.
Марморок	- Висока адгезія та надійність кріплення плиток (шип-паз). - Природна паропроникність фасадного шару. - Створення суцільної вентильованої площини без жорстких точкових кріплень.	- Обмежений простір для теплоізоляції та складність її монтажу. - Низька придатність для важких облицювальних матеріалів. - Вимогливість до рівності основи.
Краспан	- Висока морозостійкість і вологостійкість фіброцементних плит. - Стійкість до ультрафіолету та атмосферних впливів. - Тривалий строк експлуатації (до 30–50 років).	- Складність прихованого кріплення та монтажу плит великого формату. - Підвищена вага облицювання → додаткові навантаження на кронштейни. - Необхідність високої точності монтажу для уникнення мікротріщин.
ІНТЕРАЛ	- Великий вибір кронштейнів і профілів → адаптація під різні типи фасадів. - Сумісність із металевими, композитними та керамічними матеріалами. - Можливість комбінування різних типів облицювання.	- Висока трудомісткість монтажу (заклепки, втулки, клямери). - Безроздільне використання алюмінієвих і сталевих елементів може викликати корозійні напруги (електрохімічна корозія). - Чутливість до помилок у регулюванні вертикалі.
U-KON	- Преміальна система з високою жорсткістю та точністю регулювання площинності. - Кронштейни з нержавіючої сталі забезпечують довговічність та пожежну безпеку. - Підходить для фасадів зі складною геометрією та великими площинами скління.	- Висока вартість кронштейнів та монтажу. - Значна вага системи потребує посиленого анкерування. - Монтаж вимагає високої кваліфікації робітників.
Гранітогрес і Каптехнобуд	- Відсутність горизонтальних профілів → полегшений монтаж,	- Підвищена пожежна небезпека при облицюванні

Продовження таблиці 1.1

	зменшення парусності фасаду. - Простота заміни окремих плит завдяки навісному кріпленню. - Універсальність щодо плит і касет різних розмірів.	алюмінієво-композитними матеріалами. - Складність прихованого кріплення плит. - Можливий шумовий ефект «клацання» при вітрових навантаженнях.
Міськрекон	- Жорстке закріплення каркаса забезпечує мінімальні деформації фасаду. - Простота конструктивної схеми та висока несуча здатність.	- Підвищене точкове навантаження на конструкції будівлі → ризик тріщин на слабких стінах. - Обмежена сумісність із важкими типами облицювання. - Менша ремонтопридатність у порівнянні з модульними системами.

Розглянувши докладніше теплотехнічні характеристики систем, було зроблено висновок, що значення термічних опорів захисних конструкцій, як головного критерію теплового захисту будівель – чисельно рівні та здатні змінюватись в залежності від умов експлуатації будівельних об'єктів. Конструкції навісного типу для облицювання зовнішніх стін будівель житлового та цивільного будівництва виникли у Європі на межі 19 – 20 століть. Постійно вдосконалюючись та модернізуючись, вони отримали сучасний та простий у виконанні дизайн, але досить міцний конструктив.

Одним з яскравих представників виробництва та широкого застосування навісного фасаду в будівництві та реконструкції будівель є Німеччина. Понад 75% зовнішнього утеплення всієї Європи посідає на ФРН (Рисунок 1.10).

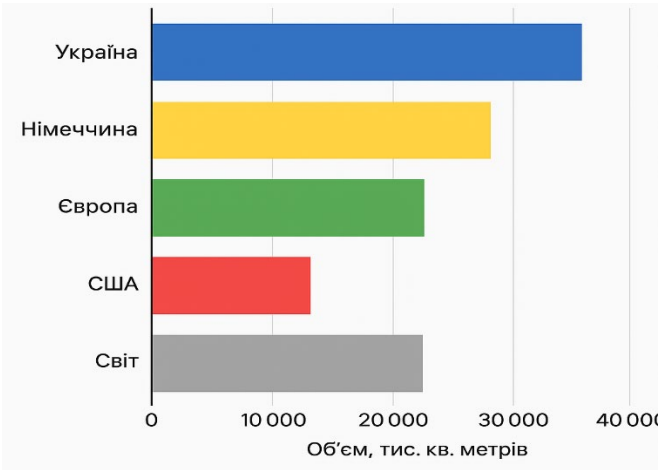


Рисунок 1.10 – Обсяг реалізації навісного утеплення на світовому ринку

У Німеччині розроблено величезний варіаційний ряд фасадів навісного типу, що мають підвищені теплотехнічні характеристики [5].

Система «Sto Ventec Fassade».

Особливість даного виду облицювання – отримання безшовного оштукатуреного фінішного оздоблення, що приховує всі нерівності основи. Це досягається завдяки застосуванню особливої каркасної системи, що складається з шарнірно-анкерних з'єднань, що дозволяє долати будь-які шорсткості.

Така конструкція є екологічно безпечною, оскільки фасадна плита виготовлена з вторинної сировини з наступним покриттям органічною штукатуркою, а як утеплюючий шар застосовується мінвата.

Система Sto Ventec Fassade застосовується для всіх типів основ зовнішньої стіни: цегляна кладка, панельні блоки, дерев'яні колоди, камінь.

Основні переваги: висока паропроникність; опірність впливу мікроорганізмів; тріщиностійкість; підвищення звукоізоляція.

Зовнішній шар фасаду може бути представлений великим спектром матеріалів: скляна, кераміка мозаїка, профільовані листи, декоративні штукатурки на органічні смоли.

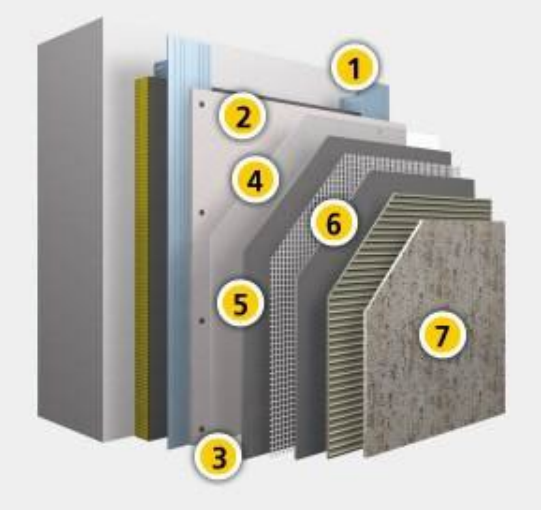


Рисунок 1.11 – Система Sto Ventec Fassade

1 – металокаркас, 2 – несуча плита, 3 – гідроізоляційний шар,

4 – ґрунтовка, 5 – армуючий шар, 6 – армуюча сітка,

7 – фінішна штукатурка

Система «Sto Therm Classic».

Безцементна система з утеплювачем з пінополістиролу володіє високими акумулюючими характеристиками, сприяючи тривалій затримці тепла у житлових та адміністративних будинках.

У зв’язку з відсутністю у складі конструкцій мінераловмісних речовин її межа міцності зростає вдесятеро порівняно з мінеральними системами. Маючи підвищену еластичність, виникнення тріщин і розшарування практично неможливо.

У зв’язку з підвищеними вимогами до пожежної безпеки фасадів застосування як теплоізолюючого шару листового пінополістиролу дозволяє запобігти спалаху.

Згідно з проведеними незалежними дослідженнями було виявлено, що система має великий термін служби, після 21 року експлуатації вона збереглася у практично первозданному вигляді без істотних змін.

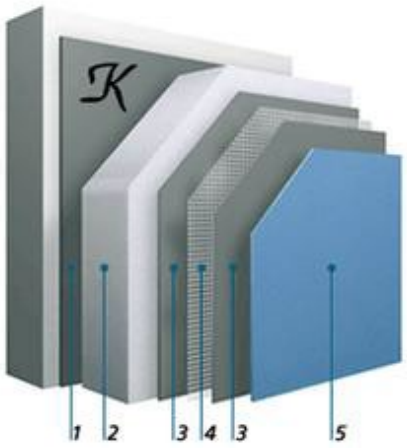


Рисунок 1.12 – Система «Sto Therm Classic»

1 – мінеральний клеючий розчин, 2 – пінополістирол,

3 – армуючий розчин, 4 – армуюча сітка, 5 – мінеральна фінішна штукатурка

Унікальність даної конструкції полягає у застосуванні полістиролу як утеплювача, а також наявності мінерального армуючого шару, що наноситься поверх ізоляції для поліпшення її властивостей та перешкоджаючи спалаху.

Спосіб кріплення також відмінний від стандартної методики монтажу:

як кріпильні елементи конструкції застосовують склосітку, пов’язану з каркасом, завдяки застосуванню клеючих порошкоподібних складів марки Sto Levell Uni. Застосування спеціальних розчинів дозволяє механізувати процес монтажу та скоротити часові рамки, так як клеї та фасадні розчини наносять машинним способом.

Крім того, способами встановлення є: дюбелювання та застосування спеціальних гумових шин для проблематичних основ.

Зовнішня обробка представлена використанням водовідштовхувальних органічних штукатурок.

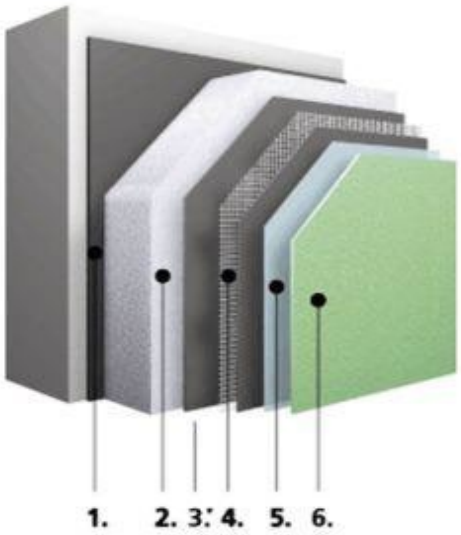


Рисунок 1.13 - Система Sto Therm Vario

1 - мінеральний клеючий розчин, 2 - пінополістирол, 3 - армуючий розчин, 4 - армована сітка, 5 - силікатне проміжне покриття, 6 - фінішне покриття

Безшовні системи «Kreisel TURBO-WSO та WSISI»

Фасадні системи такого типу відрізняються своєю суцільністю та водовідштовхуючими властивостями, що дозволяє застосовувати їх при будівництві або реконструкції будівель, розташованих у кліматичних зонах із підвищеною вологістю.

Матеріал теплоізоляції – мінеральна вата, подана у вигляді плит або ламелей.

Відмінні риси конструкції:

- висока стійкість до старіння;
- еластичність;
- брудостійкість;
- стійкість до дії біологічних організмів;
- підвищена міцність.

Також виконання робіт з монтажу систем суттєво скорочується у зв’язку з відсутністю ґрунтувального шару на зовнішній стіні будівлі.

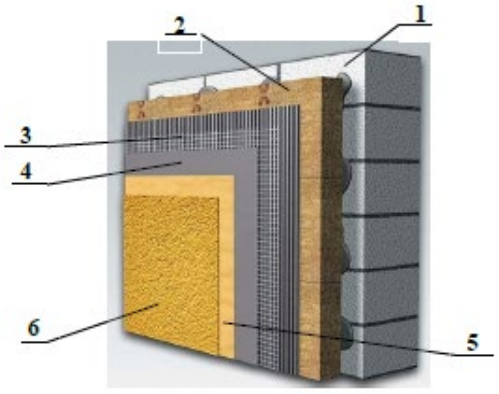


Рисунок 1.14 - Система «Kreisel TURBO-WSO та WSISI»

1 - кладка з пористих блоків, 2 - мінеральна вата, 3 - армуюча склосітка, 4 - клейовий склад, 5 - ґрунтовка, 6 - силікатна штукатурка

Типове застосування конструкцій навісних фасадів пов’язане зі скороченням енергоспоживання та зниженням навантаження на систему опалення для країн, більша частина територій які розташовується у зоні помірного клімату. Однак можливості застосування зовнішньої обробки такої конфігурації використовуються і для країн з тропічним та субтропічним кліматом, що дозволяє знизити навантаження на систему кондиціювання повітря в приміщеннях та забезпечити ефективну вентиляцію. Країнами, що використовують передові технології в області зовнішнього оздоблення такого типу, є ОАЕ, Індія, країни Перської затоки та Катар [19] (рисунок 1.15).

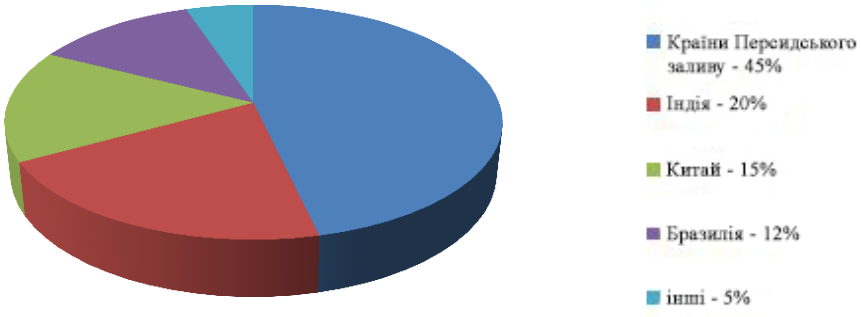


Рисунок 1.15 – Попит на влаштування навісних вентильованих систем в країнах Азіатсько-Тихоокеанського регіону

В екстремально жарких кліматичних умовах основний наголос при розробці проекту навісного фасаду робиться на запобігання потраплянню сонячного світла до приміщення та підвищення енергоефективності будівель. Часто система затінення стає зовнішнім шаром гібридної системи фасаду облицювальних плит, що застосовуються в традиційних конструкціях.

Основні складові фасаду: металевий каркас, заслінки, зовнішній ґратчастий або скляний екран та повітряний прошарок (буфер), що дозволяє уповільнювати теплопередачу між огороджувальними конструкціями будівель та зовнішнім повітрям.

Зміна напрямку руху повітряного потоку, а також зниження кількості забруднюючих речовин у повітрі приміщення забезпечується системою заслінок, що застосовуються для використання в години пікового дорожнього руху або змін погодних умов. Навісний фасад забезпечує захист пристроїв сонячного затінення, які піддаються впливу погодних умов, що дає можливість проектувати жалюзі та системи затінення з гнучким механізмом. Це дозволяє знизити вимоги до очищення та зносу механічних компонентів, тим самим забезпечуючи міцність та довговічність фасаду.

У зв’язку з кліматичними особливостями таких країн, як ОАЕ та Катар, їхній клімат відрізняється надзвичайною вологістю, при проєктуванні облицювальних систем застосовують методику «подвійного конверта». Вона полягає в наступному: зовнішній шар скління замінюється на ґратчастий

екранний елемент, а збереження внутрішнього скління захистних конструкцій, здійснюється за допомогою створення буфера, що знижує теплообмін.

При розробці проєктних рішень навісних елементів використовують дві основні методики: організація витяжної фасадної системи та застосування машрабію як зовнішнього облицювання.

Організація витяжної системи.

При використанні буферної витяжки зовнішній шар фасаду засклюють, при цьому утворюється широкий повітряний коридор. Простір, що утворився, використовується для «згладжування» температурних екстремумів і може бути частиною системи кондиціювання. Крім того, відкритий характер зовнішнього шару нового типу екрану, розташованого на відстані 1,0…1,5 м від первинної стіни, що полегшує доступ для внутрішнього очищення конструкції від піску.

Застосування машрабію.

Типові висотні офісні будинки зводяться кластерно, затінюючи одна одну. У зв'язку з цим були розроблено унікальні подвійні фасади, дія яких забезпечує затінення будівель без втрат тепла. Цей метод у поєднанні з відносно великою площею скління у верхньому шарі покриття перешкоджає передачі тепла та сонячної енергії. Основою системи є традиційна машрабія, яка являє собою дерев'яний ґратчастий екран, що забезпечує циркуляцію повітря, перешкоджаючи проникненню сонячного світла. Такі системи спільно з комплексом навісних стін в якості внутрішнього шару забезпечують високий захист від сонячних променів. Шари розділені широким повітряним коридором, щоб забезпечити вільний доступ повітря для природного охолодження елементів конструкцій. Зовнішній шар затінення є або фіксованим або рухомим.

Прикладами застосування таких систем є: Вежа Доха (Катар).

У фасаді вежі використовується фіксований екран як зовнішній шар, що складається з чотирьох алюмінієвих елементів – «метеликів» різного розміру, щоб показати геометрично складний рисунок, при цьому служить захистом від

сонця. Структура облицювання змінюється в залежності від орієнтації та відповідних потреб у сонячному захисті. За потреби можна припинити влучення сонячного світла в приміщення, наглухо закривши алюмінієвий екран. Внутрішній шар складає скляну поверхню та завершує сонячний захист фасаду. За прогнозами, дана система зменшить навантаження на систему кондиціювання на 20 %.

Башти Аль-Бахар в Абу-Дабі. Зовнішній шар фасаду є запрограмованою системою з комплексу напівпрозорих парасольок, так як він здатний відкриватися і закриватися відповідно до щоденної траєкторії сонця. Кожна з двох веж включає більше 1000 таких пристроїв затінення. Кожен блок складається з розтягнутих ПТФЕ (полі-тетра-фтор-етилен) панелей та наводиться в рух лінійним приводом, які поступово відкриваються та закриваються один раз на день за раніше запрограмованою схемою. Вся установка захищена різними датчиками, які відкриють блоки у разі хмарних умов чи сильних вітрів. Переваги даної системи включають: покращення проникнення денного світла, зменшення залежно від штучного освітлення та більш ніж на 50 % зменшення коефіцієнта поглинання сонячної енергії.

Клініка Клівленда (Абу-Дабі). Дана конструкція є варіацією витяжної системи навісного фасаду. Подвійна порожнина фасаду відкрита зверху вниз і створює «дихаючий» ефект. Механічна підлога в нижній частині лікарні дозволяє прохолодному повітрі лікарняних приміщень проникати між «шаруватою» конструкцією стіни, яка нагріває його, у зв’язку з чим він піднімається вгору і видаляється через дах. Ця вихлопна система створює захисний бар’єр між зовнішнім повітрям та внутрішньої частини будівлі. Така конструкція дозволить знизити витрати на охолодження будівлі приблизно на 33 % через зменшення роботи системи кондиціювання.

Внутрішній шар системи являє собою стандартну герметичну прямолінійну несучу стіну. Трубчасті сталеві грати, що підтримують зовнішній шар скління, фіксуються рукоятками, з’єднаними з конструкцією будівлі.

1.2 Теоретичні основи монтажу конструкцій навісних фасадів

Навісні фасадні системи становлять собою комплекс конструктивних та інженерно-технологічних елементів, змонтованих на зовнішніх огороджувальних конструкціях будівлі з утворенням вентильованого повітряного прошарку. До їх складу входять металева або композитна підконструкція, теплоізоляційний шар із застосуванням негорючих матеріалів, вітрозахисно-гідроізоляційні мембрани та зовнішнє облицювання у вигляді плит, панелей чи касет. Така система забезпечує багатофункціональний захист споруди, стабілізує теплотехнічний стан огороджувальних конструкцій, мінімізує вплив опадів і сонячної радіації, а також гарантує підвищену довговічність та енергоефективність будівлі протягом усього експлуатаційного циклу.

Процес монтажу навісного фасаду регламентується вимогами нормативно-технічної документації та передбачає виконання комплексу підготовчих, розмічувальних, монтажних і контрольних операцій, які впливають на якість і стабільність технологічного результату. На початковому етапі виконують детальний огляд фасадних поверхонь з оформленням акта приймання огороджувальних конструкцій, під час якого перевіряють стан цегляної або блокової кладки, рівність та вертикальність стін, цілісність бетонних елементів, властивості міжпанельних швів та наявність деформаційних розтинів. У разі виявлення дефектів, таких як раковини, порожнини, руйнування швів або оголення арматури, монтаж фасадної системи відкладається до завершення ремонтно-відновлювальних робіт. Після цього площу фасаду поділяють на монтажні захватки для ефективної організації праці, вибору підмощувальних засобів і синхронізації потоків робіт. З фасаду демонтують усі сторонні елементи - кріплення рекламних щитів, антени, водовідливи, зовнішні комунікації, а також видаляють старі декоративно-оздоблювальні шари, що можуть негативно впливати на міцність анкерних з’єднань.

Розмітку місць установки кронштейнів виконують із використанням геодезичних приладів високої точності - лазерних нівелірів, теодолітів та схилів, формуючи контрольні реперні точки, від яких залежить положення напрямних профілів і рівність усього майбутнього облицювання. Після завершення розмічувальних робіт розпочинають монтаж кронштейнів за допомогою сталевих або полімерних дюбелів та анкерних гвинтів із коефіцієнтом надійності не менше 5. Забороняється встановлювати анкери у вертикальні шви кладки через недостатню несучу здатність розчину. У зоні контакту кронштейна зі стіною застосовують терморозривні прокладки з пароніту або полімерних матеріалів для зниження величини містків холоду, що суттєво впливають на термічний опір огороджувальної конструкції.

Після установки опорних елементів переходять до монтажу теплоізоляції. Теплоізоляційні плити з мінеральної вати негорючої групи щільно укладають з перев’язкою швів для запобігання появі порожнин і зон продування. Плити первинно фіксують двома тарілчастими дюбелями, після чого встановлюють вітрозахисно-гідроізоляційну мембрану з перекриттям полотен не менше 100 мм. Після завершення мембранних робіт утеплювач остаточно кріплять дюбелями відповідно до проектної схеми. На наступному етапі монтують вертикальні та горизонтальні напрямні профілі підконструкції, положення яких контролюється теодолітом, рівнем і схилом. Усі з’єднання підлягають антикорозійному захисту.

Перед облицюванням встановлюють фасонні елементи: укоси, відливи, парапетні планки, примикання, а також протипожежні короби у зонах прорізів відповідно до чинних норм пожежної безпеки. На завершальному етапі виконують монтаж облицювальних матеріалів - керамогранітних плит, фіброцементних панелей, металевих касет або композитних плит. Кріплення здійснюється відкритим або прихованим способом із застосуванням клямерів, заклепок, гвинтів чи шинових систем. Мінімальний вентильований зазор становить 40 мм, а всі елементи кріплення виконуються з корозійностійких матеріалів. Для зменшення вібрацій застосовують еластичні прокладки. Після

завершення облицювання проводять контрольні вимірювання, оформляють акти на приховані роботи та здійснюють огляд примикань, кутів і зон прорізів. Усі роботи мають виконуватись сертифікованими організаціями з відповідною кваліфікацією персоналу.

Таблиця 1.2 – Технологічна послідовність улаштування навісного фасаду

Етап робіт	Зміст технологічних операцій	Контрольні параметри	Примітки
1. Огляд і приймання фасаду	Оцінка стану кладки, бетону, швів, геометрії; складання акта	Вертикальність, рівність, відсутність дефектів	Монтаж заборонено при виявлених руйнуваннях
2. Підготовка поверхні	Демонтаж сторонніх елементів, очищення облицювання, ремонт дефектів	Якість очищення, міцність основи	Видалення слабких шарів обов’язкове
3. Розбиття фасаду на захватки	Планування послідовності монтажу та місць розташування підмощування	Раціональність схеми, доступність зон	Застосовується при великих площах
4. Геодезична розмітка	Винесення осей та точок кріплення кронштейнів	Площинність, точність ±2 мм	Використовуються нівелір, теодоліт
5. Монтаж кронштейнів	Свердління, установка анкерів, терморозривні прокладки	Надійність кріплення, відсутність монтажу у шви	Коефіцієнт надійності анкерів ≥5
6. Монтаж теплоізоляції	Укладання плит, первинне та остаточне дюбелювання, монтаж мембрани	Щільність прилягання, перев’язка швів, нахлест 100 мм	Матеріал – група НГ
7. Монтаж напрямних профілів	Установка вертикальних і горизонтальних елементів каркаса	Площинність фасаду, точність регулювання	Антикорозійний захист обов’язковий
8. Улаштування фасонних елементів	Монтаж відливів, примикань, укосів, протипожежних коробів	Щільність прилягання, герметичність	Виконується до облицювання
9. Облицювання фасаду	Кріплення плит/панелей, перевірка геометрії, встановлення прокладок	Мінімальний зазор 40 мм, якість кріплення	Прихований або відкритий тип кріплення
10. Контроль та оформлення документів	Акти на приховані роботи, перевірка вузлів і примикань	Відсутність дефектів, правильність стиків	Завершальний етап перед здачею

2 ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ, ЩО ЗАСТОСОВУЮТЬСЯ ПРИ ВЛАШТУВАННЯ ФАСАДНИХ СИСТЕМ

2.1 Дослідження та оцінка конструктивного влаштування та вузлів кріплення навісних фасадів

Відповідно до архітектурно-конструктивних особливостей навісних фасадних систем для кожного типу облицювання розробляються спеціалізовані вузли кріплення, що фіксуються у технічних альбомах і каталогах фасадних рішень. У випадках, коли конструктивні вузли не належать до типових або мають працювати в унікальних умовах експлуатації, їхнє проєктування виконується індивідуально для конкретної фасадної системи з урахуванням геометрії будівлі, матеріалу несучих стін, технологічних обмежень та вимог до експлуатаційної надійності. Така деталізація дозволяє врахувати специфіку об’єкта, забезпечити оптимальне компонування елементів і знизити ризики технологічних відхилень у процесі монтажу та подальшої експлуатації.

Основні групи вузлів кріплення, що застосовуються у навісних фасадних системах, охоплюють:

– кріплення кронштейнів до несучої основи;

– установлення та провішування напрямних профілів;

– технологічні рішення для віконних і дверних укосів;

– конструкції обрамлення внутрішніх та зовнішніх кутів;

– вузли примикання цокольної частини та парапету до фасадної площини;

– елементи улаштування протипожежних відсіків і розсікаючих поясів.

Ці вузли аналізуються з урахуванням конструктивних особливостей різних типів фасадних систем (керамогранітних, металевих, композитних, фіброцементних), що дозволяє забезпечити відповідність експлуатаційним і пожежним вимогам, а також компенсацію температурно-деформаційних процесів.

Закріплення кронштейна на несучу стіну є ключовим елементом, що визначає просторову стабільність та несучу здатність усієї підконструкції фасаду. Кронштейн виконує функцію первинної опори, на яку в подальшому навішуються вертикальні та горизонтальні профілі каркаса. Його кріплення здійснюється за допомогою анкерних болтів, а між опорною площиною кронштейна і несучою поверхнею встановлюється прокладка з пароніту або полімерного матеріалу. Це забезпечує компенсацію нерівностей, зменшує ймовірність утворення нещільностей та значно знижує теплопровідність вузла, мінімізуючи ефект «містків холоду». Конструктивне виконання таких вузлів залежить від типу кронштейна, тощо застосовується у системі, та від розрахункових навантажень.

У системах кріплення розрізняють два основні типи підпірних елементів - несучі та опорні кронштейни. Несучі кронштейни сприймають вертикальні навантаження від власної ваги системи та горизонтальні вітрові дії протягом усього експлуатаційного періоду. Опорні кронштейни виконують функцію фіксації фасадної площини від горизонтальних впливів, але не сприймають вагового навантаження. Завдяки цьому напрямний профіль у місцях кріплення до опорних елементів зберігає можливість температурного переміщення, компенсуючи сезонні подовження та запобігаючи накопиченню напружень у конструкції. Альтернативний підхід до забезпечення температурної компенсації реалізується в системах підвісних фасадних елементів типу «Краспан», де розподіл температурно-індукованих зусиль здійснюється рівномірно між кронштейнами та ділянками профільного каркасу.

Окрему групу становлять складові та рухомі кріпильні елементи, що складаються з двох і більше частин. Їх застосування дозволяє компенсувати нерівності фасадної поверхні, забезпечувати точну регулювання площинності, а також збільшувати протяжність каркаса за потреби. Такі вузли особливо ефективні при реконструкції будівель, де геометрія огороджувальних конструкцій може відхилятися від нормативних значень.

На надійність фасадної системи суттєво впливає кількість та конфігурація болтових з'єднань, які визначаються згідно з розрахунком на міцність, стійкість і перевіряються випробуваннями на вирив. Це дозволяє гарантувати працездатність вузла у різних сценаріях навантаження. Крім того, усі кріпильні елементи, так само як і профільний металокаркас, виготовляються з корозійностійкої сталі або сплавів, що відповідають вимогам довговічності, атмосферної стійкості та пожежної безпеки.

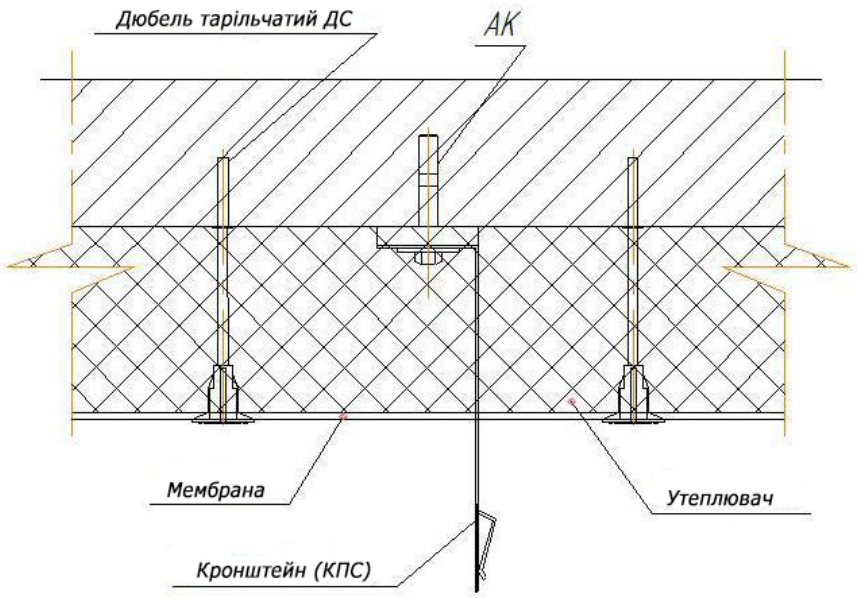


Рисунок 2.1 – Монтаж кронштейна в товщі несучої огорожі

Монтаж напрямних профілів за допомогою системи опор

Кріплення металокаркасу до кронштейнів здійснюється за допомогою заклепок, що дозволяють забезпечити жорстку фіксацію профілів між собою, створюючи єдину структуру. При цьому необхідно пам’ятати про можливість вертикального переміщення напрямних у внаслідок температурних деформацій. У зв’язку з цим форма отворів в опорній конструкції для установки профілю прийнята довгастою, як найбільш оптимальна.

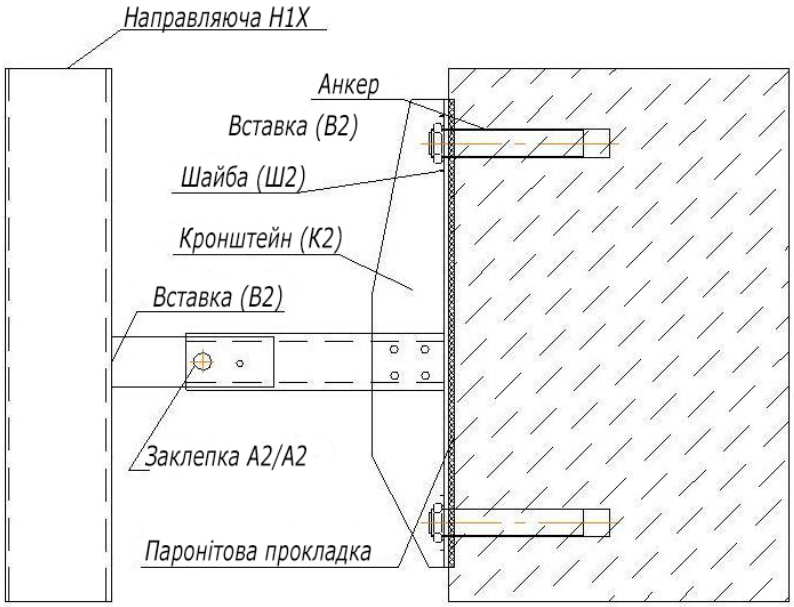


Рисунок 2.2 – Встановлення профілю металокаркасу (вид збоку)

Кріплення віконних і дверних укосів у навісних фасадних системах є важливим конструктивним елементом, що забезпечує герметичність примикань, збереження теплотехнічної однорідності огороджувальних конструкцій та підвищення експлуатаційної надійності будівлі. Укіс являє собою елемент обрамлення віконних і дверних прорізів, який виконує як декоративну, так і функціональну роль. Його щільне прилягання до площини зовнішніх стін запобігає формуванню зон локального теплового дискомфорту та зменшує ризик «вихолоджування» приміщень. За конструктивною функцією і розташуванням розрізняють верхні, бічні та нижні (зливні) укоси, кожен з яких виконує функцію захисту огороджувальних конструкцій від проникнення атмосферної вологи в місцях примикання до прорізів.

Особливе технічне та нормативне значення має вузол верхнього укосу, який водночас є складовою протипожежного захисту фасадної системи [8]. Порожнини, що формуються в зоні примикання укосу до зовнішньої стіни, використовуються для розміщення протипожежних коробів, призначених для перешкоджання поширенню відкритого вогню крізь фасадну систему та у внутрішні приміщення. Експлуатація будівлі без таких елементів протипожежного захисту є неприпустимою та заборонена відповідно до

чинних вимог [27].

Конструктивне виконання протипожежних коробів передбачає застосування профільованих сталевих листів товщиною не менше 0,55 мм, з'єднаних між собою корозійностійкими метизами. Кріплення коробів до площини зовнішньої огорожі здійснюється з кроком 400 мм для верхніх укосів і не більше 600 мм - для бічних. Внутрішня порожнина коробів заповнюється мінераловатним утеплювачем, що виконує функцію термоізоляційного та протипожежного бар'єра [28].

Залежно від конструктивного рішення та вимог проєкту застосовують два типи протипожежних коробів: відкритого та прихованого виконання. При відкритому способі монтажу бортики короба виступають за площину зовнішнього облицювання, що ефективніше перешкоджає поширенню вогню у товщу фасадної системи. Приховане виконання передбачає відсутність бортиків, а компенсацію їхньої функції забезпечує додаткова облицювальна панель, встановлена з лицьової сторони фасаду [21]. Відкритий варіант монтажу вважається більш надійним з позицій пожежної безпеки: що більша ширина виступу протипожежного елемента, тим нижчий ризик займання та поширення вогню по навісній системі.

Окремою конструктивною деталлю є протипожежна пластина, яка монтується над верхнім укосом та виконується з антикорозійного металу. Вона забезпечує горизонтальне перекриття прорізу з перев'язкою на суміжні вертикальні напрямні каркасу, тим самим підвищуючи шляхи локалізації пожежі. Геометричні параметри пластини встановлюються нормативами: її ширина повинна становити не менше 150 мм, товщина - не менше 0,5 мм, а довжина перевищувати протяжність укосу на 0,6 м (по 0,3 м з кожного боку) з метою надійного кріплення до елементів каркасу.

Разом із цим, під час улаштування зливів і укосів необхідно враховувати вимогу щодо забезпечення безперервної вентиляції повітряного прошарку навісної фасадної системи. Порушення циркуляції повітря призводить до утворення конденсату на поверхні теплоізоляційного шару, що може

викликати зволоження матеріалів, зниження теплотехнічної ефективності оболонки будівлі та пришвидшене руйнування елементів системи.

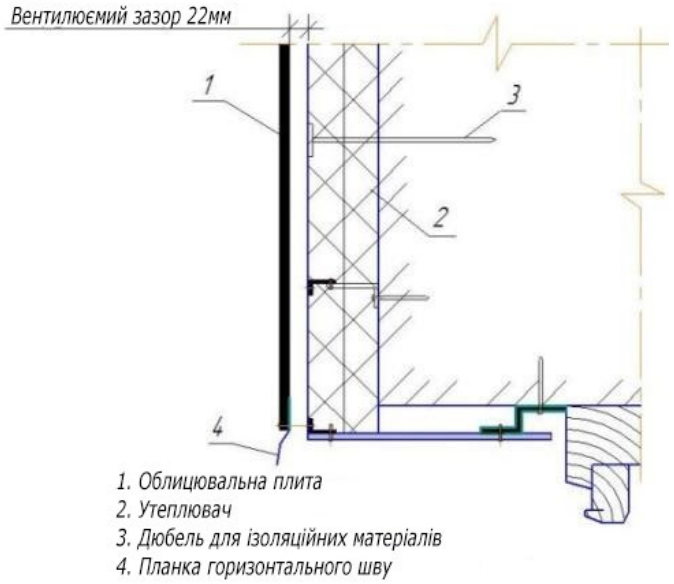


Рисунок 2.3 – Вузол примикання навісного фасаду до віконного отвору

Обрамлення внутрішніх та зовнішніх кутів будівлі.

Для оформлення внутрішніх та зовнішніх кутів будівель (їх правильної геометрії) застосовують додаткові напрямні та спеціальні кутові стійки, що забезпечують щільне примикання суміжних облицювальних панелей один до одного. При монтажі кутових обрамлень необхідно залишати зазор для компенсації температурних розширень ширина зазору в середньому становить 10 мм. Для забезпечення співвісності суміжних елементів конструкцій можливе застосування сталевих накладок, що передбачаються проектом.

При використанні як облицювальних виробів алюмінієві панелі касетного типу для підвищення пожежобезпеки системи у внутрішні кути будівлі додатково монтують протипожежні пластини.

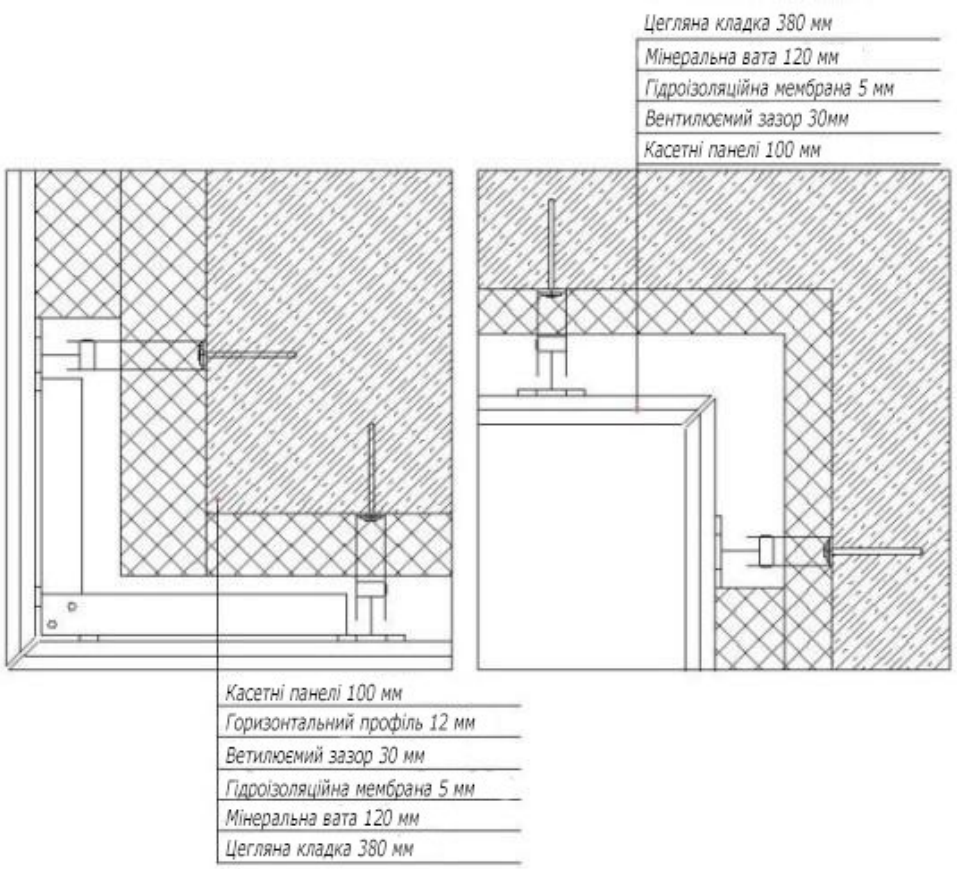


Рисунок 2.4 – Влаштування кутів будівель

Примикання цоколя та парапету до стін

Парапет - верхня частина зовнішньої стіни, що сусідить з мауерлатом покрівлі, цоколь - нижня частина стіни будівлі, що межують з підвалом або техпідпілля.

Особливістю монтажу навісних фасадів у місцях стикування зовнішніх стін з елементами покрівлі та підвальними приміщеннями є конструювання отворів (продухів) для організації природної припливно-витяжної вентиляції. Геометричні розміри вентиляційних отворів визначаються теплотехнічним розрахунком, з поэлементного складу стін.

Основна вимога при встановленні примикань - організація повітряного зазору в конструкції навісного фасаду. Тому при монтажі цокольного вузла необхідно використовувати перфорований металевий нащільник для створення природного потягу повітря.

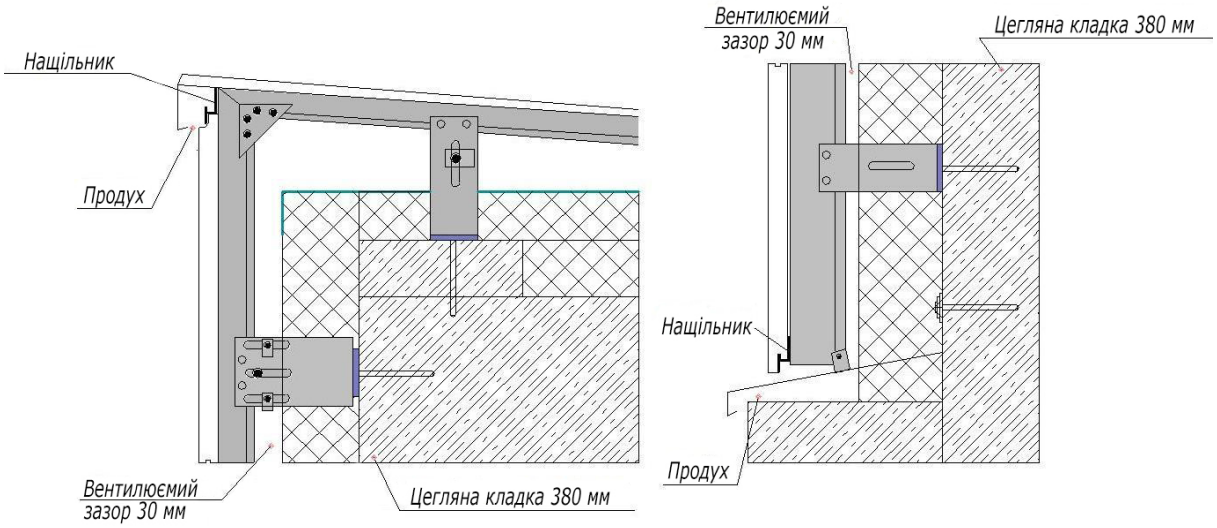


Рисунок 2.5 – Встановлення примикань до парапету та цоколю будівель

Монтаж протипожежних відсічень у вентильованих фасадних системах є критично важливим етапом, спрямованим на забезпечення локалізації та обмеження поширення вогню в межах повітряного зазору. Протипожежне відсікання являє собою оцинковану перфоровану металеву пластину, яка встановлюється по периметру вентильованого простору та формує ефективний бар’єр для вертикального перенесення полум’я і продуктів горіння у разі пожежі. Конструкція відсічення виконує функцію переривання тяги у вентильованому прошарку, зберігаючи при цьому необхідний рівень повітрообміну, що є принциповим для роботи навісної фасадної системи.

Установлення протипожежних відсічень здійснюється з регламентованим кроком по висоті фасаду відповідно до розрахункових та нормативних параметрів. Кріплення виконується виключно до несучих або захисних елементів огороджувальних конструкцій, як правило, за допомогою заклепок або інших корозійностійких металовиробів. Геометричні характеристики відсічень можуть змінюватися залежно від типу фасадної системи: довжина пластини дорівнює ширині конструкції вентильованого фасаду або відповідає відстані від зовнішньої стіни до площини металокаркасу. Конфігурація перфорації (діаметр, крок і кількість отворів) визначається на основі теплотехнічного та аеродинамічного розрахунку, що

забезпечує необхідний баланс між протипожежною ефективністю та вентиляційною здатністю системи.

У ряді конструктивних рішень застосовуються комбіновані протипожежні відсічення, виконані у вигляді двох металевих пластин, які монтуються на зовнішній стіні зі зміщенням (перехльостом) приблизно на 10 мм. Така конфігурація забезпечує підвищену щільність перекриття вентильованого зазору, одночасно зберігаючи можливість циркуляції повітря у межах допустимих величин, передбачених проєктом.

З огляду на агресивність умов експлуатації вузла (значні температурні коливання, можливість конденсації, контакт з продуктами горіння) до матеріалів протипожежних відсічень та їх кріпильних елементів висуваються підвищені вимоги. Зокрема, метизи, якими здійснюється фіксація відсікаючих пристроїв, повинні мати межу вогнестійкості не нижчу, ніж відповідний показник матеріалу самого відсічення [6], що гарантує збереження працездатності вузла протягом нормативного часу вогневого впливу.

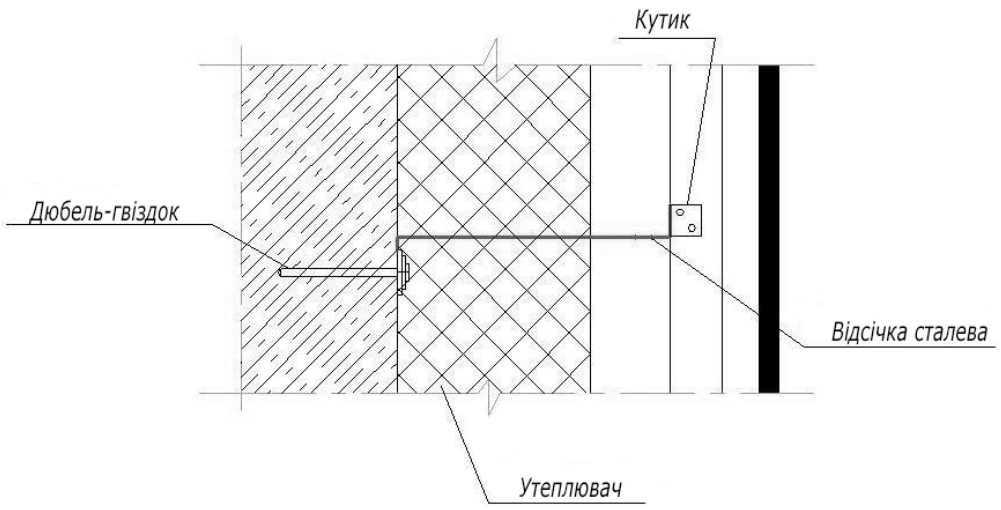


Рисунок 2.6 – Влаштування протипожежних відсічень

Також було проаналізовано застосування різних видів металовиробів та проведено оцінку техніко-технологічних рішень, що застосовуються під час монтажу навісного вентильованого фасаду.

Застосування фасадних шурупів.

Застосування шурупових з’єднань є одним із найпоширеніших і технологічно доступних способів кріплення елементів навісних фасадних систем. Основним матеріалом для виготовлення таких кріпильних виробів є корозійностійка нержавіюча сталь, що використовується незалежно від матеріалу підконструкції (алюміній або оцинкована сталь). Вибір саме нержавіючої сталі є принциповим, оскільки фасадні системи зазнають циклічних температурних, вітрових та вологісних впливів, а застосування оцинкованих металовиробів призводить до інтенсивного розвитку корозії, зниження несучої здатності вузлів та передчасного руйнування конструктивних елементів.

Монтаж шурупових з’єднань дозволяється здійснювати за температури зовнішнього повітря не нижче −20 °С, що зумовлено як фізико-механічними властивостями матеріалів, так і нормативними обмеженнями щодо безпечних умов праці. При нижчих температурах різко зростає крихкість металів та знижується якість формування різьбового контакту, а також погіршується можливість виконання точних монтажних операцій.

До недоліків застосування шурупів належить можливість послаблення різьбового з’єднання або його повного самовикручування під дією вібраційних навантажень, характерних для міського середовища (транспортні потоки, техногенні коливання, вітрові імпульси). Вібраційна деградація з’єднань може призвести до втрати стабільності напрямних профілів, що вимагає застосування додаткових конструктивних заходів (антивібраційні прокладки, фіксуючі шайби, періодичний регламентний огляд).

Середній розрахунковий витратний показник кріпильних елементів для однієї гілки металокаркасу становить приблизно вісім шурупів, що забезпечує необхідну жорсткість та рівномірний розподіл навантажень. Для площі фасаду один квадратний метр потребує орієнтовно чотири–п’ять кріпильних елементів залежно від типу фасадної системи, маси облицювання, конструктивної схеми каркасу та вітрового району будівництва. Зазначені

показники уточнюються розрахунком відповідно до проєктних даних і нормативних вимог.

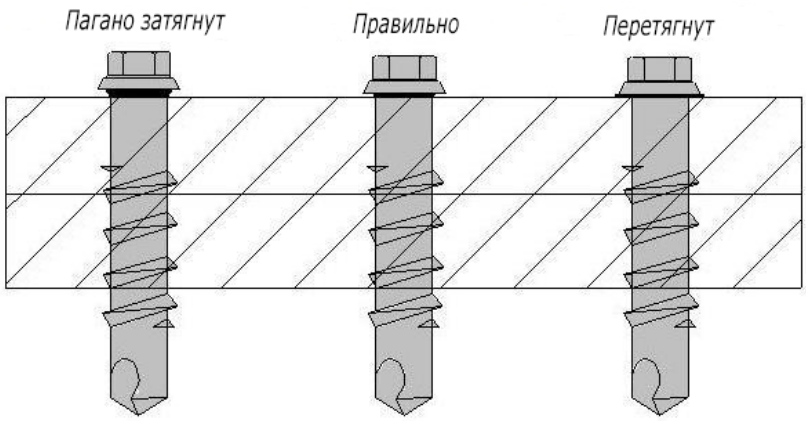


Рисунок 2.7 – Правильність встановлення шурупів

Використання заклепок.

Заклепка є одним із ключових елементів механічного кріплення, що широко застосовується під час улаштування систем навісних вентильованих фасадів. На відміну від самонарізальних гвинтів, заклепувальні з’єднання характеризуються підвищеною міцністю, стабільністю у часі та стійкістю до вібраційних навантажень, що робить їх одним із найбільш надійних способів фіксації профільних елементів та облицювальних панелей.

Конструктивно заклепка складається з двох частин: гільзи (корпусу) та втулки-сердечника, який зазвичай виготовляється з корозійностійкої нержавіючої сталі.

Розрізняють два основних типи заклепок за формою головки:

– з виступаючим бортиком;

– із збільшеним виступаючим бортиком.

Заклепки другого типорозміру застосовуються у системах із підвищеним експлуатаційним навантаженням, зокрема при монтажі облицювання з фіброцементних або азбестоцементних плит, що характеризуються значною масою та високими вимогами до міцності точкових з’єднань.

Стандартна ширина борта таких кріпильних виробів становить близько 14 мм, тоді як для монтажу елементів металокаркасу застосовують заклепки з бортиком шириною приблизно 12 мм. Матеріалом їх виготовлення може бути алюміній або нержавіюча сталь, залежно від типу фасадної підконструкції.

Технологічна послідовність монтажу заклепувальних з'єднань включає такі етапи: корпус заклепки встановлюється в підготовлений отвір між деталями, що підлягають з'єднанню; далі за допомогою заклепочного інструмента відбувається витягування сердечника крізь корпус заклепки до моменту досягнення необхідного тягового зусилля. Після цього сердечник відламується у контрольованій зоні, утворюючи формостійке та довговічне з'єднання, здатне сприймати значні експлуатаційні навантаження протягом тривалого строку служби.

Класифікація заклепок за матеріалом виготовлення передбачає такі комбінації:

– алюмінієва гільза + нержавіючий сердечник;

– нержавіюча гільза + нержавіючий сердечник.

Вибір матеріальної пари визначається типом металокаркасу, конструктивною схемою фасадної системи та експлуатаційними умовами. Для кріплення клямерів і структурних елементів, виготовлених з оцинкованої сталі, застосовуються заклепки з нержавіючої сталі, що виключає електрохімічну корозію та забезпечує довговічність вузла.

Поєднання алюмінію та нержавіючої сталі є допустимим та економічно доцільним у випадках, коли підконструкція фасаду виконана з алюмінієвих профілів.

Для гарантування надійності та нормативної відповідності монтажних робіт підбір заклепувальних елементів повинен здійснюватися згідно з технічними альбомами рішень та проєктною документацією, що враховує тип облицювального матеріалу, схему навантаження та вимоги до експлуатаційної безпеки фасадної системи.

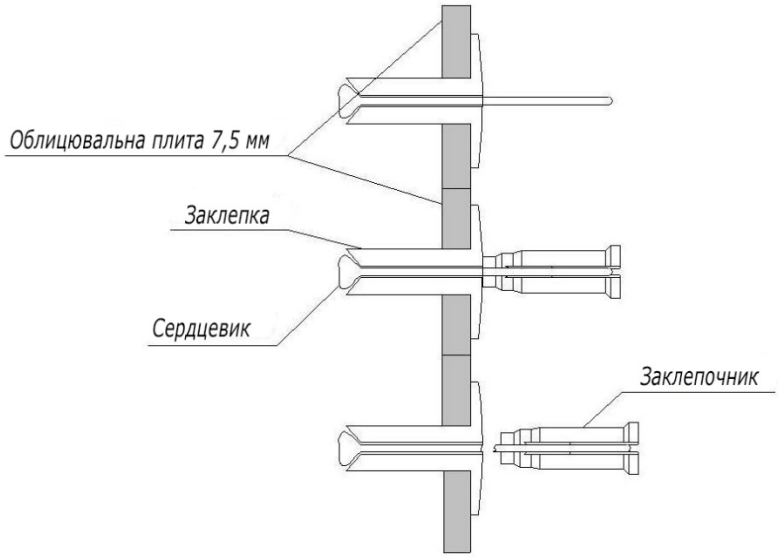


Рисунок 2.8 – Послідовність виконання заклепувального з'єднання

Установка анкерних (фасадних) дюбелів.

Фасадний дюбель є спеціалізованим кріпильним елементом, розробленим для навантажених вузлів систем навісних вентильованих фасадів, і конструктивно відрізняється від стандартних виробів збільшеним типорозміром та підвищеними вимогами до фізико-механічних характеристик. Товщина таких дюбелів зазвичай становить 12–14 мм, що забезпечує необхідну несучу здатність при роботі на вирив та зсув. Матеріалом виготовлення служить нержавіюча сталь або конструкційні метали з високоякісним антикорозійним покриттям, оскільки елементи працюють у суворих умовах експлуатації, які характеризуються впливом опадів, циклічних температурних коливань і вітрових навантажень.

Діаметр стрижня фасадного дюбеля становить у середньому 10–12 мм, а довжина варіює в межах від 60 до 160 мм залежно від матеріалу, товщини та щільності зовнішньої стіни, а також глибини закладення, необхідної для забезпечення нормативної міцності з’єднання. Під час підбору анкерних пристроїв використовується базовий принцип: зі збільшенням розрахункового навантаження має зростати діаметр і міцність шурупа, що працює у парі з дюбелем. Це дозволяє забезпечити нормативний запас міцності та унеможливити руйнування вузла під дією експлуатаційних навантажень.

Обов’язковою вимогою при виборі фасадних дюбелів є проведення випробувань на вирив і зсув. Такі випробування проводять безпосередньо на будівельному майданчику у натурних умовах, максимально наближених до умов подальшої експлуатації фасадної системи. Результати випробувань дозволяють оцінити фактичну несучу здатність кріплення, врахувати особливості матеріалу огороджувальної конструкції та уникнути технічних відхилень у період експлуатації.

Під час підбору фасадних дюбелів необхідно враховувати комплекс факторів: матеріал зовнішньої стіни, тип і товщину теплоізоляційного шару, висотність будівлі, вітрове навантаження, кліматичну зону будівництва та умови експлуатації. Правильно підібраний дюбель забезпечує надійність вузла кріплення у довготривалій перспективі, мінімізує ризик деформацій та запобігає відмовам фасадної системи.

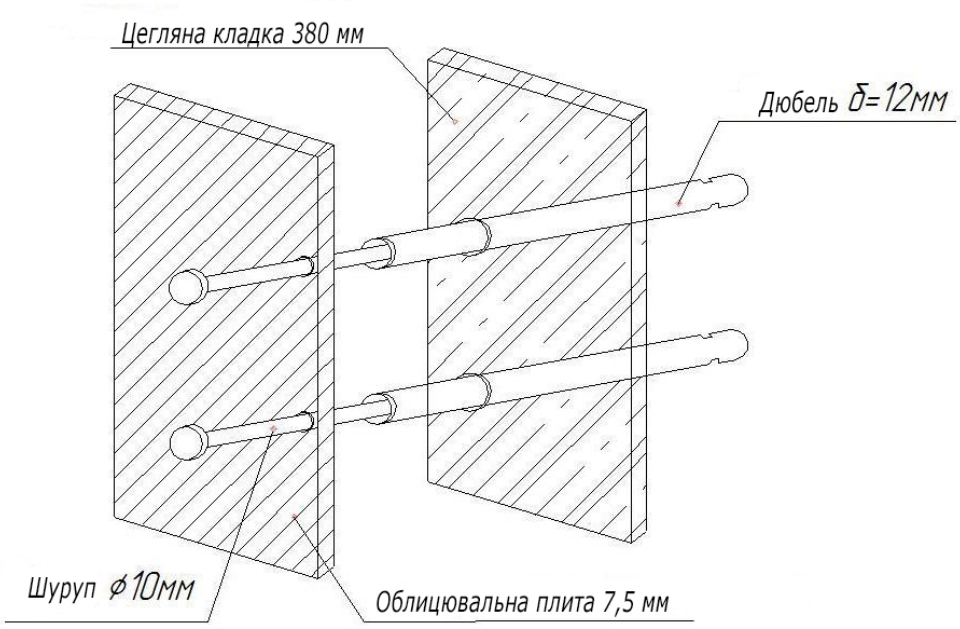


Рисунок 2.9 – Схема встановлення анкерного дюбеля

Влаштування анкерів під кронштейни.

Упори кронштейнів у системах навісних вентильованих фасадів закріплюються до несучої стіни за допомогою анкерних елементів двох основних типів: хімічних та розпірних. Вибір типу анкера визначається

матеріалом огороджувальної конструкції, величиною прикладених навантажень та вимогами до довговічності вузла.

Хімічний анкер має низку конструктивних і експлуатаційних переваг, що забезпечують його ефективну роботу в умовах підвищених навантажень. До відмінних характеристик такого типу кріплення належать висока корозійна стійкість, здатність до утворення міцного адгезійного контакту з клейовою сумішшю та рівномірний розподіл напружень у товщі матеріалу стіни. Монтаж передбачає висвердлення отворів необхідного діаметра та заповнення їх двокомпонентним полімерним клеєм, після чого встановлюються анкерні шпильки. Після полімеризації клейової суміші формується монолітне з'єднання, що має значну опірність вириванню та не створює точкових напружень у місці кріплення. Окрім того, застосування хімічних анкерів сприяє частковому відновленню структури стіни, фактично «замонолічуючи» порожнини, що підвищує загальну довговічність вузла кріплення.

Розпірний анкер являє собою механічний кріпильний елемент, що складається з металевої гільзи (зазвичай із нержавіючої сталі), різьбового стрижня та розпірної частини в середній зоні. Принцип роботи розпірного анкера базується на механічному розширенні гільзи у момент загвинчування стрижня: розпірна зона деформується та щільно заклинюється у товщі стінового матеріалу, забезпечуючи надійне утримання без застосування клейових складів. Під час демонтажу стиск розпірного елемента зменшується, і анкер частково відновлює свою початкову форму, що дає можливість повторного використання отвору або заміни елемента.

Застосування розпірних анкерів є доцільним для матеріалів огородження зі зниженою щільністю, зокрема для конструкцій з пінобетону та газобетону. У таких стінах механічне розклинювання забезпечує надійнішу фіксацію, ніж клейові системи, а розширювальний механізм дозволяє компенсувати нерівномірність структури матеріалу.

Обидва типи анкерів мають свої технологічні переваги, а їх вибір повинен базуватися на інженерному розрахунку, характеристиках несучої

стіни, величині експлуатаційних навантажень та вимогах нормативних документів до вузлів кріплення фасадних систем.

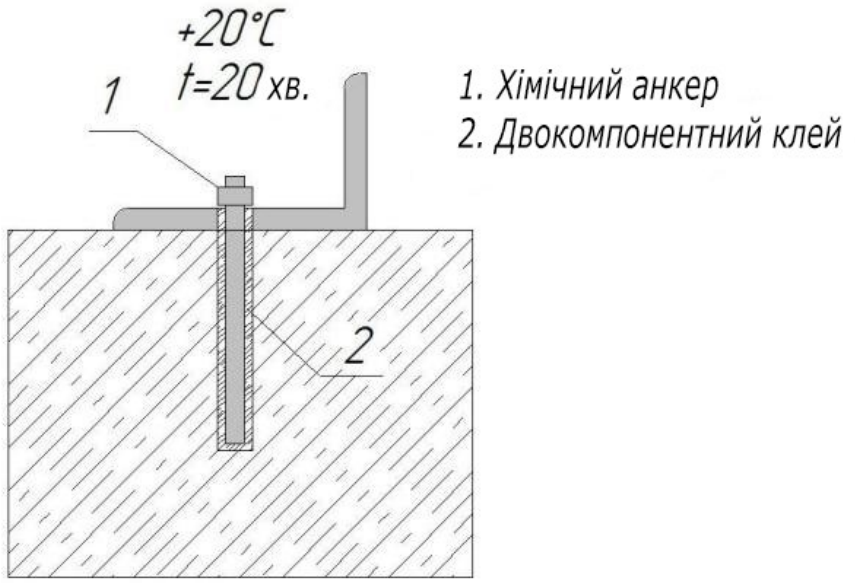


Рисунок 2.10 – Закріплення хімічного анкера (вид збоку)

Монтаж теплоізоляційних дюбелів.

Для фіксації теплоізоляційного шару в системах навісних вентильованих фасадів використовуються спеціалізовані дюбельні тарілчасті елементи (так звані «парасольки»), конструкція яких забезпечує рівномірний розподіл локальних навантажень на площину утеплювача та запобігає його деформації під час експлуатації. Корпус (гільза) такого дюбеля виготовляється з високоякісного поліаміду, що характеризується низькою теплопровідністю, стійкістю до старіння та хімічної інертності. Розпірний елемент, який забезпечує механічне заклинювання кріплення в товщі огороджувальної конструкції, виконується з вуглецевої сталі з антикорозійним покриттям, що гарантує тривалу роботу у складних кліматичних умовах.

Тарілчасті дюбелі повинні відповідати підвищеним експлуатаційним вимогам, зокрема витримувати значні перепади температур у діапазоні від −40 до +80 °C, вплив вологісних факторів, циклічні навантаження та механічні деформації, що виникають внаслідок роботи фасадної системи у змінних температурно-вологісних умовах. Стійкість до ультрафіолетового

випромінювання, атмосферної дії та можливості корозійного руйнування є критично важливою для забезпечення довговічності утеплювального шару.

Технологія монтажу тарілчастих дюбелів аналогічна процедурі встановлення дюбелів металокаркасу: у зовнішній огороджувальній конструкції виконується свердління отвору відповідного діаметра, після чого гільза дюбеля встановлюється в підготовлену порожнину, а розпірний стрижень уводиться до моменту створення необхідного розпірного зусилля. Такий спосіб забезпечує надійне закріплення теплоізоляційного матеріалу та виключає його відрив чи зміщення під дією вітрових та експлуатаційних навантажень.

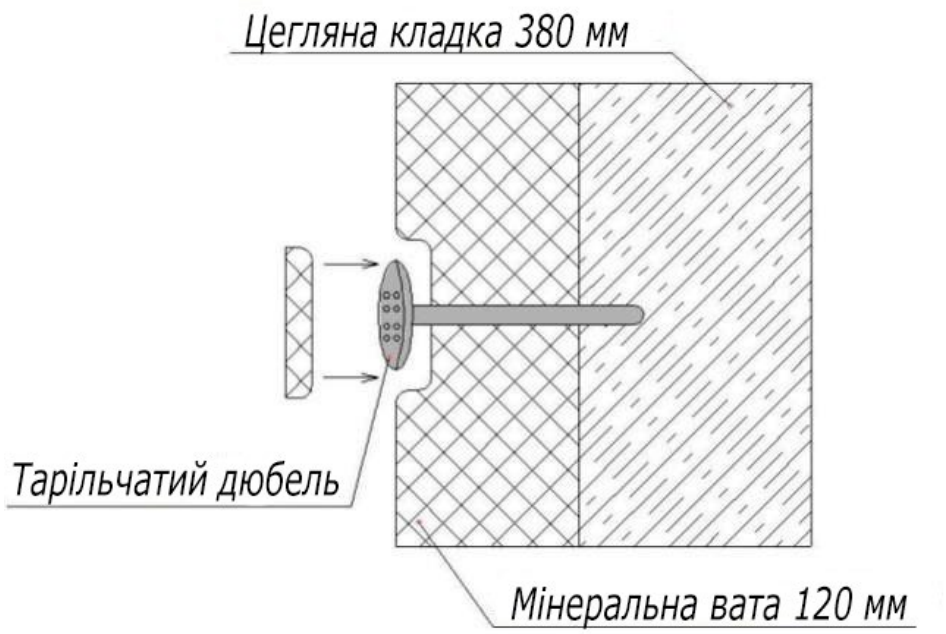


Рисунок 2.11 – Влаштування тарілчастих кріплень

Застосування болтів прихованої установки.

Цей тип кріпильних елементів використовується для встановлення облицювальних плит на металокаркас навісних вентильованих фасадів, забезпечуючи надійність, довговічність і безпечну експлуатацію системи. Залежно від матеріалу облицювання та вимог до несучої здатності застосовують два основних різновиди точкових кріплень: Keil та DuroPT.

Анкерні кріплення типу Keil являють собою високонавантажувані

елементи, здатні сприймати значні експлуатаційні навантаження, що виникають у конструкціях із важких облицювальних матеріалів – керамограніту, натурального каменю та фіброцементних плит. Відмінною особливістю технології монтажу Keil є формування в плиті отвору спеціальної трапецієподібної конфігурації з розширенням униз. Така форма забезпечує заклинювання анкера під час встановлення й створює високу опірність вириванню.

Однак виготовлення подібних отворів потребує застосування спеціалізованого високоточного обладнання, що істотно підвищує вартість монтажних робіт та обмежує масове використання цієї технології. Незважаючи на це, кріплення Keil вважаються одними з найбільш надійних і застосовуються у фасадних системах з підвищеними вимогами до міцності та безпеки.

Болтові з’єднання DuroPT є більш економічно доцільним та технологічно простим варіантом кріплення облицювальних панелей. Вони не потребують спеціалізованого обладнання чи складної підготовки отворів, оскільки можуть монтуватися за стандартною технологією із застосуванням традиційного інструменту. Матеріалом виготовлення таких елементів є корозійностійкі сталі, що забезпечують тривалий термін служби кріплення в умовах зовнішніх атмосферних впливів. Система DuroPT широко застосовується в конструкціях з легких облицювальних матеріалів – полімерних та пластикових плит, а також у фасадних системах зі зниженим експлуатаційним навантаженням.

Таким чином, вибір між Keil і DuroPT визначається насамперед масою облицювання, вимогами до міцності, економічністю монтажу та технологічною доступністю оснащення. Обидва види кріплень мають власні конструктивні та експлуатаційні переваги, що дозволяє гнучко адаптувати систему до умов конкретного об’єкта.

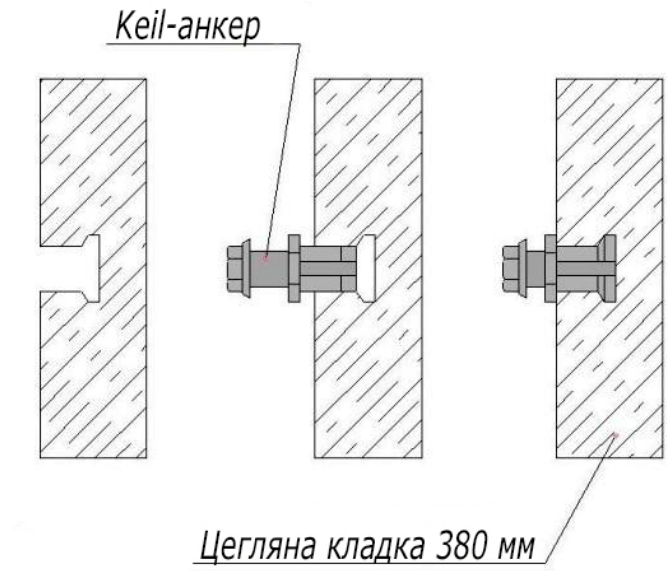


Рисунок 2.12 – Монтаж Keil – анкерів

Оцінка конструктивного виконання та вузлів кріплення систем утеплених навісних фасадів засвідчила, що одним із найбільш характерних та системних недоліків є недостатня ефективність і конструктивна недосконаліть елементів кріплення паро- та гідроізоляційного шару. Наявні рішення часто не забезпечують стабільну фіксацію мембран у зонах стикування, що створює ризики їх розкриття як у процесі монтажу, так і під час довготривалої експлуатації фасадної системи.

Порушення цілісності паро- та гідроізоляційного шару призводить до неконтрольованого доступу атмосферної вологи у товщу теплоізоляційного матеріалу, що, своєю чергою, спричиняє природне перезволоження утеплювача. Внаслідок погіршення теплотехнічних характеристик знижується ефективність всієї огороджувальної конструкції та формується передумова до передчасного руйнування теплоізоляційного шару і прилеглих елементів підсистеми.

Причини зниження теплоізолюючих властивостей навісних фасадних систем:

- «містки холоду» у місцях кріплення – 25 %
- розкріплення гідроізоляції – 54 %;

- неякісний монтаж примикань – 16 %.
- неправильний підбір геометричних параметрів повітряного прошарку – 5 %

Таким чином, проблема надійності кріплення парогідроізоляційних матеріалів є критично важливою для забезпечення довговічності та енергоефективності фасадних систем і потребує вдосконалення конструктивних рішень, застосування більш ефективних фіксувальних елементів та розроблення технологічно обґрунтованих методів монтажу.

2.2 Дослідження та оцінка матеріалів, що застосовуються в конструкціях НФС для цивільних будівель

2.2.1 Матеріали для теплоізоляції

Утеплюючий шар, що входить до складу конструкції навісного вентильованого фасаду, впливає на її теплотехнічні властивості, тому до підбору матеріалів утеплення необхідно підходити достатньо ретельно.

Основна вимога до утеплювача - збереження тепла всередині приміщення та хороша провідність водяної пари з нього.

На жаль, не всі матеріали мають такі властивості, наприклад - жорстко структурований та екструзійний пінополістироли (ЕППС) відрізняються низькою гігроскопічністю, тому застосовуються при зовнішньому утепленні досить рідко (20 % від загального обсягу навісних конструкцій). Наявність замкнутої пористої структури викликана технологією виробництва матеріалів.

Пінополістирол утворюється в результаті спінювання гранул та їх обробки гарячою водяною парою.

При циклічному повторенні – щільність гранул полістиролу знижується, утворюється щільна та цілісна структура. Отриману масу просушують на свіжому повітрі. З видаленням вологи з пор матеріалу, він остаточно

структурується. Наявність пористої структури матеріалу знижує теплообмін з довкіллям, тому теплопровідність утеплювача становить 0,033…0,036 Вт/м °С.

До складу ЕППС входять полістирол та кополімери стиролу. Гранули стиролу заповнюються газом (природним або вуглекислим – для отримання вогнетривкого матеріалу) і розчиняються в полімерній масі, після чого отримана суміш нагрівається за допомогою пари, гранули збільшуються в розмірах і спікаються у єдину масу. Теплотехнічні властивості одержуваного матеріалу становлять 0,035…0,038 Вт/м·°С. Для підвищення техніко-технологічних характеристик до складу утеплювача додають антипірени, пластифікатори та різні барвники.

Крім того, спінені утеплювачі легко спалахують, не дивлячись на спроби виробників вдосконалювати склад, додаючи різні протипожежні добавки. При їх горінні виділяється їдкий та токсичний дим.

Також теплоізолюючий матеріал легко руйнується під впливом прямих сонячних променів, тому залишати його тривалий час на свіжому повітрі без захисного шару не рекомендується.

До переваг пінопластових утеплювачів можна віднести: міцність, легкість у монтажі, хорошу звукоізоляцію та доступну ціну. При роботі та подальшій експлуатації не виділяється токсичних сполук, згубних для людини. Термін служби становить близько 50 років за їх експлуатації у нормальних умовах.

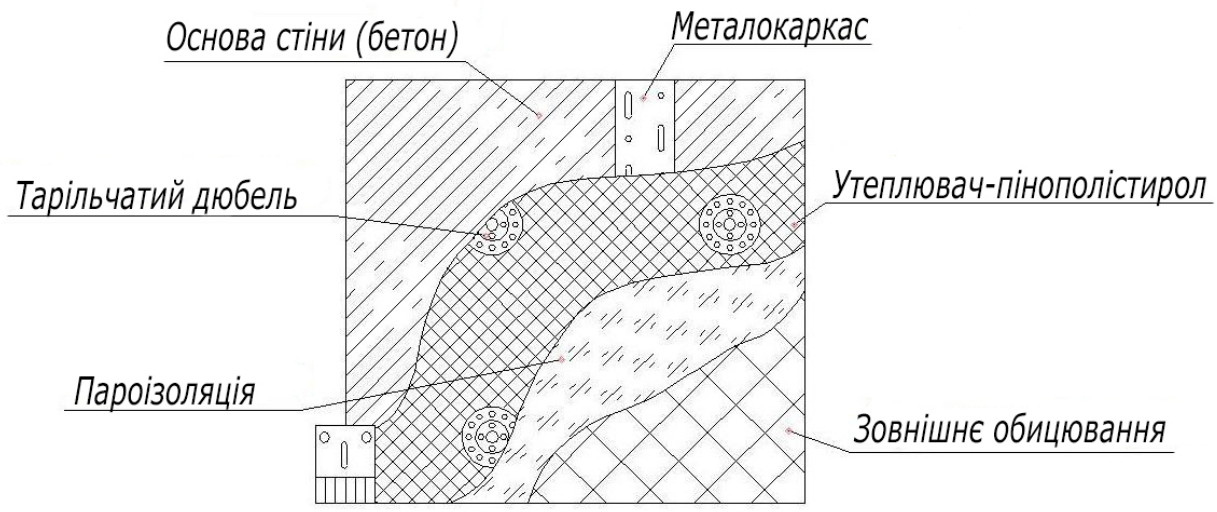


Рисунок 2.14 – Застосування пінополістиролу при утепленні зовнішніх стін

Найпоширеніший тип теплоізоляції, що використовується в навісних фасадних конструкціях - мінеральна вата (80 % від загального числа всіх фасадів, що монтуються).

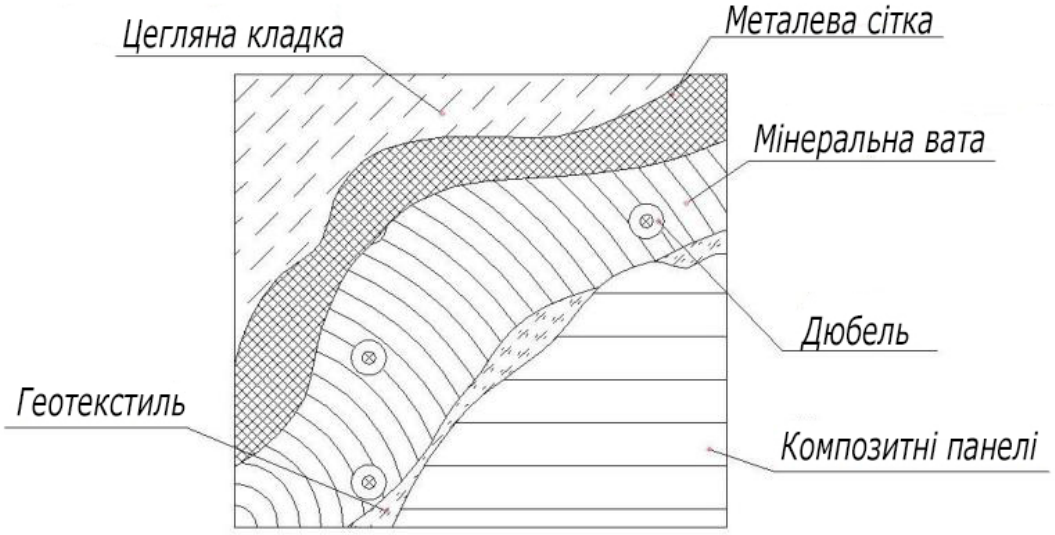
Вона виробляється з природних матеріалів, таких як базальт або шлак, шляхом їх попереднього прогрівання до температури 1500…2000℃. Вироблені волокна спресовують, утворюючи суцільну структуру. У зв'язку з цим отриманий утеплювач має низьку теплопровідність близько 0,038…0,045 Вт/м ℃, що є його характерною характеристикою [14].

Крім того, утеплювач забезпечує хорошу звукоізоляцію, що дозволяє використовувати його в будинках з підвищеними вимогами щодо рівня шуму та вібрації. Матеріал, що утеплює, виготовлений з мінеральної вати не горючий, не схильний до шкідливого впливу гризунів і мікроорганізмів за рахунок застосування в їхньому складі природних компонентів. Термін служби матеріалу практично становить близько 10…20 років, хоча виробники його штучно завищують.

Недоліком даного утеплювача є підвищена паро- і вологопроникність. Накопичуючись, вода у порах матеріалу руйнує його структуру та погіршує його теплотехнічні властивості.

Товщина шару, що утеплює, з мінеральної вати представлена двома типорозмірами 50 і 100 мм, проте можливе застосування двошарового утеплення різної щільності за завданням на проектування, причому питома вага верхнього шару має бути більшою за нижній.

Поряд з мінераловатним теплоізолюючим матеріалом також використовують: базальтову вату або скловату. Але слід врахувати, що базальт – матеріал дорогий проти іншими утеплювачами, тому рідко застосовується в Україні, а скловолокно дає усадку після кількох років експлуатації та вимагає підвищеної уваги при монтажних роботах з-за крихкості та обсипаності.



Риснок 2.15 – Мінераловатний утеплювач під час монтажу систем НФС

Однією з нових розробок у сфері теплоізоляції останніх років є PIR-плита. Вона являє собою спінений поліізоціанаурат, матеріал схожий за складом та властивостями зі звичним пінопластом та його похідними, відмінною особливістю якого є застосування спеціальних речовин (наповнювачів) під час його виготовлення.

Основні технічні характеристики: жорстка спінена ніздрювата текстура, розмір ізольованих осередків якої становить кілька мікрометрів, внаслідок чого щільність матеріалу не перевищує 45…60 кг/м³.

Основним компонентом для виробництва PIR-пліт є метилендифенілдіізоціанат, який при дії високих температур і додаванні спінюючих речовин, перетворюється на твердий і міцний пористий полімер.

За рахунок щільної та однорідної структури поліізоціанаурат має підвищену міцність на стиск і найменшою теплопровідністю серед штучних утеплювачів, що дорівнює 0,02 Вт/м °С. Крім того, даний матеріал пожежобезпечний, при дії відкритого вогню на його поверхні утворюється вуглецева кірка, що перешкоджає подальшому його поширенню.

PIR-плита не вбирає вологу. Тому при монтажі утеплювача не потрібні додаткові витрати на паро - та гідроізоляцію. Щільно закриті пори матеріалу перешкоджають виникненню конденсату всередині плити. Термін служби

матеріалу, за словами виробників, становить щонайменше 50 років. Однак через високу вартість виробництва даного типу утеплювача, він поки не знайшов широкого застосування у масовому будівництві в Україні.

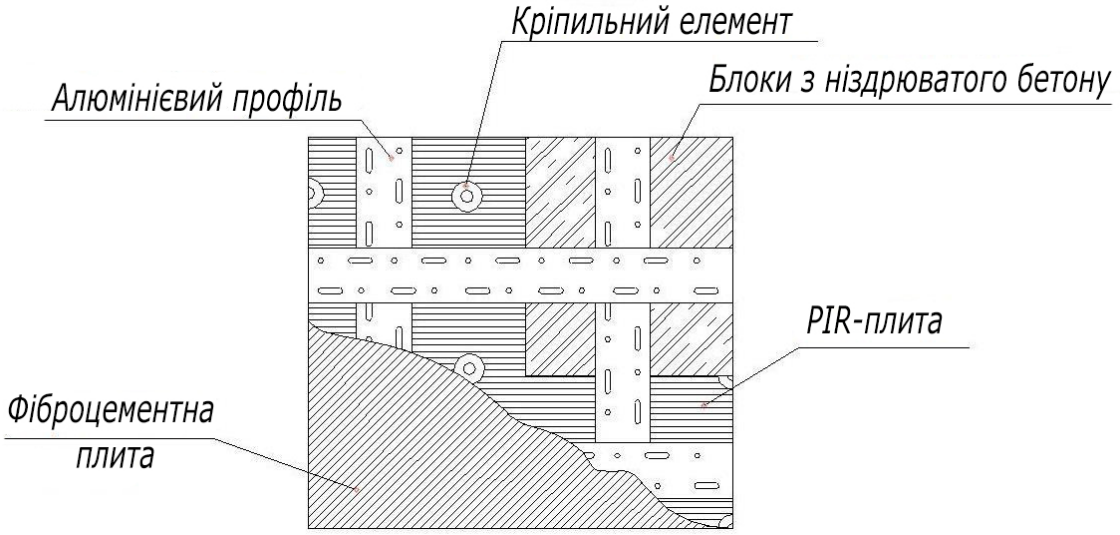


Рисунок 2.16 – PIR – плита, як утеплювач навісного фасаду

Результати проведеного аналізу теплотехнічних характеристик теплоізолюючих матеріалів згідно нормативної документації [24], подані у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 - Теплотехнічні характеристики утеплювачів

Показник	Мінераловатні плити	Піно-полістирол (ПСБ-С)	Екструдований пінополістирол (ЕППС)	Поліізо-ціанурат (PIR-плита)
Густина, кг/м³	40–150	10–18	28–45	30–50
Товщина, мм	50–200	50–150	30–150	50–120
Питома теплоємність, кДж/(кг·°С)	≈0,84	≈1,34	≈1,34	≈1,29
Теплопровідність λ, Вт/(м·°С)	0,036–0,045	0,037–0,041	0,029–0,033	0,022–0,024
Вологість робоча, %	5	10	2	2
Теплоспроможність, Вт/(м²·°С)	0,31–0,35	0,38–0,45	0,35–0,36	0,37–0,40
Пароопір, м²·год·Па/мг (зворотне значення паропроникності)	0,3–0,5 (висока паропроникність)	0,05 (низька)	0,015–0,02 (дуже низька)	0,002–0,005 (наднизька)
Група горючості (ДСТУ)	НГ (негорючий)	Г2–Г4 (горючий)	Г2–Г3	Г1–Г2
Орієнтовна вартість, грн/м²	250–600	180–450	400–1 200	900–2 000

2.2.2 Гідроізоляція фасаду

Вітро- та вологозахисні матеріали є критично важливими елементами систем навісних вентильованих фасадів, оскільки саме вони забезпечують захист утеплювача від атмосферних опадів, регулювання дифузійних процесів і стабільну роботу всієї огороджувальної конструкції. Традиційно у фасадних системах застосовують високодифузійні мембрани та геотекстильні полотна, однак останніми роками все більшого поширення набувають двокомпонентні бітумно-полімерні мастики («рідка гума»), що забезпечують безшовний гідроізоляційний бар'єр.

Високодифузійні мембрани, виготовлені з багатошарового поліпропілену, виконують функцію вітро- та гідрозахисту, зберігаючи при цьому високу паропроникність (не менше 1200 мг/(м·год·Па)), що дозволяє відводити водяну пару з внутрішніх приміщень і запобігати накопиченню вологи в утеплювачі. Ультразвукове зварювання шарів забезпечує стабільність структури, біостійкість, негорючість та експлуатацію в діапазоні температур від −60 до +60 °С. Розрахунковий строк служби мембран становить 10–15 років, що відповідає потребам фасадної системи. Монтаж виконується зверху вниз, шорсткою поверхнею до утеплювача, із перехльостом полотнищ не менше 50–100 мм.

Будівельний геотекстиль є синтетичним полотном із поліефірних або поліпропіленових волокон, що з'єднуються механічним або термічним способом. Він характеризується високою температурною стійкістю, хімічною інертністю, антибактеріальністю та армувальним ефектом. Найпоширенішим типом у фасадних системах є каландрований геотекстиль, який формується шляхом термічного спікання волокон і має підвищену міцність. До недоліків мембран і геотекстильних матеріалів належать:

– руйнування під впливом ультрафіолетового випромінювання (при тривалому незакритому перебуванні);

– знижена міцність на розтягування;

– горючість окремих типів мембран.

На тлі обмежень рулонних і листових матеріалів у сучасних фасадних системах дедалі більше застосовується двокомпонентна бітумно-полімерна мастика холодного напилення («рідка гума»), що створює безшовний гідроізоляційний шар із високими експлуатаційними характеристиками.

До основних переваг рідкої гуми належать:

– висока адгезія до будь-яких основ – бетону, цегли, металу, деревини чи складних поверхонь;

– висока стійкість до температурних коливань і атмосферних впливів без втрати фізико-механічних властивостей;

– формування монолітного безшовного шару, що виключає утворення стиків – основної слабкої зони рулонних матеріалів;

– самозагладжувальний ефект, що дозволяє компенсувати незначні нерівності та дефекти основи;

– антикорозійний захист металокаркасу при нанесенні на металеві поверхні;

– економічність: шар мастики товщиною 2 мм замінює до чотирьох шарів рулонної гідроізоляції;

– висока еластичність, що унеможливлює тріщиноутворення при деформаціях конструкції;

– пожежна безпека, оскільки у складі використовується водна хлориста емульсія;

– висока екологічність та відсутність токсичних компонентів;

– зростання міцності з часом, що є характерною властивістю полімеризованих бітумних композицій;

– можливість нанесення на складні архітектурні форми завдяки регульованій в’язкості.

Попри значну кількість переваг, бітумно-полімерні мастики мають і певні недоліки, серед яких:

– потреба у спеціалізованому обладнанні для напилення;

– відносно висока вартість матеріалу та робіт.

Проте ці обмеження компенсуються високою довговічністю (понад 50 років), що перевищує строк служби більшості рулонних матеріалів у 3–5 разів. Водночас при роботі з рідкими гідроізоляційними складами категорично не допускається використання матеріалів на розчинниках, які здатні руйнувати полімерну структуру мастики.

У таблиці 2.2 подано порівняльну характеристику рулонних гідроізоляційних матеріалів та безшовних мастик холодного напилення.

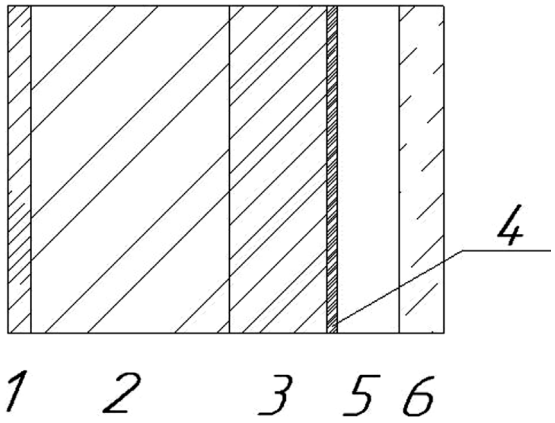


Рисунок 2.17– Склад навісної огорожі з полімерним гідроізолятором
1 - вапняно-піщаний розчин; 2 - цегляна кладка; 3 - мінеральна вата;
4 - рідка гума; 5 - повітряний прошарок, 6 - керамограніт

Таблиця 2.2 - Аналіз технічних характеристик гідроізоляції рулонного та напилюваного типів

Найменування характеристики	Рулонна гідроізоляція	Напилювана рідка гума (бітумно-полімерна мастика)
Видалення старого покриття перед нанесенням	Необхідно	Не потрібне
Очищення поверхні перед нанесенням	Обов’язково	Обов’язково
Виконання усадкових і температурних швів	Необхідно	Не потрібні
Попередня розмітка матеріалу	Необхідна	Не потрібна

Продовження таблиці 2.2

Використання відкритого вогню при монтажі	Необхідно (газові горілки)	Не застосовується
Попередній підігрів поверхні та матеріалу	Необхідно	Не потрібен
Пожежна безпека (ДСТУ/ДБН)	Г2–Г4 (горючий)	НГ (негорючий)
Токсичність при нагріванні / горінні	Можлива (Т1–Т4)	Відсутня (НТ)
Маса гідроізоляційного шару на 1 м², кг	10–12	3–6
Самовідновлення покриття при пошкодженні	Відсутнє	Можливе
Еластичність при t > 0 °С, %	8–10	До 100
Еластичність при t < 0 °С, %	Не зберігається	Зберігається
Наявність стиків і швів	Є (вразливі зони)	Відсутні (моноліт)
Утворення пухирів під час монтажу	Можливе	Відсутнє
Типи поверхонь, на які можна наносити	Переважно рівні площини	Будь-яка конфігурація, у тому числі складні
Адгезія до основи	5–10 %	До 100 %
Захист від прямої дії сонця	Обов’язковий додатковий шар	Не потрібний
Здатність до розтягування	≈15 %	До 100 %
Температурний діапазон експлуатації	–25…+55 °С	−50…+95 °С
Періодичний (поточний) ремонт	Кожні 2–3 роки	Не потрібний протягом десятиліть
Капітальний ремонт / повна заміна	Через 5–7 років	Орієнтовно через 50 років
Середня вартість нанесення	150–300 грн/м²	350–600 грн/м²
Екологічність	Середня, можливе використання бітуму, праймерів	Висока, водна основа, відсутність розчинників
Стійкість до УФ	Низька, потребує захисту	Висока

2.2.3 Повітряний прошарок як елемент системи НФС

Безперешкодна циркуляція повітря в системах навісних вентильованих фасадів забезпечується за рахунок створення спеціального повітряного прошарку – вентиляційного зазору. Геометричні параметри цього елемента суттєво впливають на ефективність гідро- та теплоізоляції фасадної системи, визначаючи її працездатність у реальних умовах експлуатації. Для встановлення необхідної товщини вентиляційного зазору застосовують розрахункові методики, які враховують температурно-вологісний режим приміщень, кліматичні умови регіону, інтенсивність повітрообміну та швидкість руху повітряних мас. Оптимальною шириною вентиляційного зазору вважається величина 30–50 мм, що забезпечує стабільну роботу системи в більшості кліматичних зон.

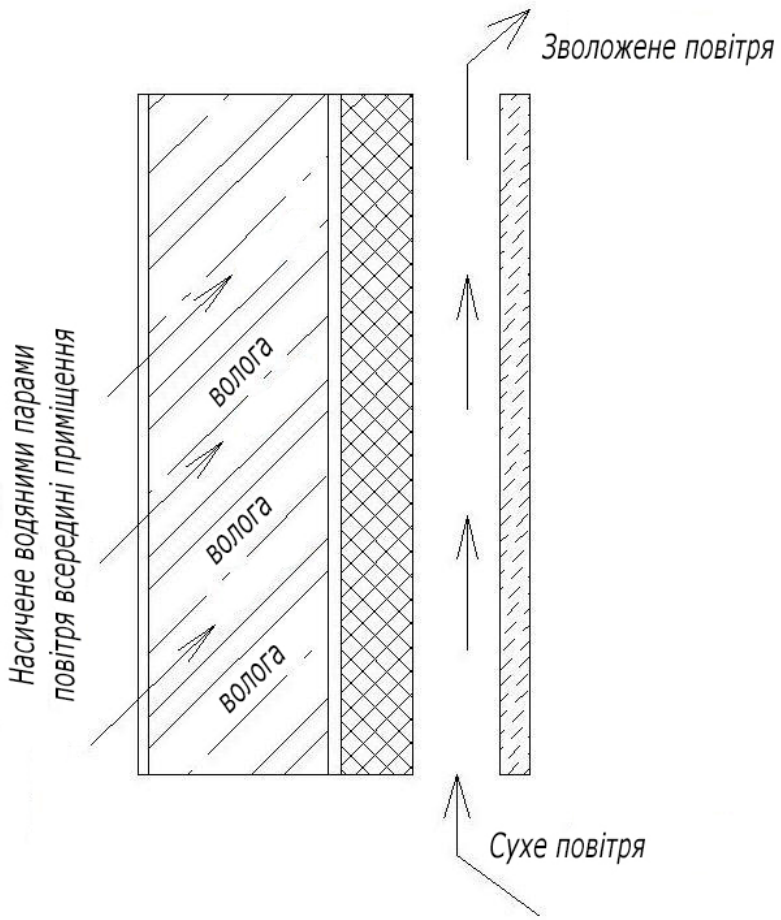


Рисунок 2.18 – Призначення вентильованого зазору

Для досягнення проєктного теплозахисного ефекту повітря, що рухається в товщі вентильованої огорожі, повинно здійснюватися з певним аеродинамічним опором, який створюється за рахунок відбортування облицювальних панелей та встановлення протипожежних відсічень. Це сприяє ефективнішому видаленню вологи з огороджувальних конструкцій та запобігає накопиченню конденсату в зоні утеплювача.

Порушення вимог щодо улаштування вентиляційного зазору може призвести до критичних дефектів функціонування фасадної системи. Так, занадто мала ширина зазору викликає контакт та ущільнення утеплювача з облицювальним шаром, що спричиняє його зволоження і значне зниження теплозахисних властивостей. Натомість надмірно великий зазор може створювати акустичні ефекти – виникнення шумів та резонансних коливань при сильних поривах вітру.

Геометрія вентиляційного прошарку повинна визначатися з урахуванням кліматичних і геодезичних умов розташування об’єкта. Наприклад, у регіонах із тропічним або субтропічним кліматом, де вміст водяної пари в атмосфері досягає 70–75 г/м³, а швидкість природного висушування утеплювача є низькою, доцільним є збільшення ширини зазору до ≈80 мм. Натомість у гірських районах, де повітря розріджене та характеризується низькою швидкістю руху, влаштування вентильованих фасадів є малоефективним, оскільки природний повітрообмін у зазорі не здатен забезпечити належне видалення вологи.

У регіонах із холодним кліматом слід враховувати, що частина атмосферних опадів випадає у вигляді снігу, який чинить менший руйнівний вплив на фасадну систему, ніж косий дощ, проте водночас потребує забезпечення достатнього дренажу.

Окрім основної функції видалення водяної пари з поверхні утеплювача, вентиляційний зазор виконує низку додаткових важливих завдань:

– сприяє відведенню дощової води завдяки утворенню дренажного каналу;

– знижує вітрове навантаження на фасад шляхом балансування тисків між зовнішнім середовищем та внутрішнім простором огорожі;

– формує додатковий теплоізоляційний шар, що покращує тепловий режим приміщень;

– забезпечує природне видалення конденсаційної вологи з внутрішніх шарів огороджувальної конструкції, підтримуючи стабільні експлуатаційні характеристики фасадної системи.

2.2.4 Облицювальні матеріали

Заключним функціонально й технологічно значущим елементом фасадної системи є облицювальний шар, який виконує одночасно декоративну та захисну функції. З одного боку, він формує архітектурну виразність будівлі, з іншого – забезпечує бар'єрний захист теплоізоляційного шару, металокаркаса та інших конструктивних елементів фасаду від атмосферних, механічних і експлуатаційних впливів. Вибір виду облицювання визначається не лише архітектурною концепцією, але й вимогами до міцності, довговічності, пожежної безпеки та кліматичних умов експлуатації будівлі.

Важливим критерієм підбору облицювальних матеріалів є вітрове навантаження. Зокрема, великоформатні панелі не рекомендується застосовувати на будівлях підвищеної поверховості через збільшені аеродинамічні дії, що можуть призвести до втомних руйнувань кріплень або деформацій облицювання.

Аналітичний огляд ринку фасадних матеріалів свідчить, що частка керамогранітних панелей становить близько 53 %, алюмінієвих композитних панелей – 20 %, фіброцементних плит – 8 %, натурального каменю – 5 %, полімерних ПВХ-плит – 4 %, металевих касет – 9 %, інші матеріали – близько 1 %. Це демонструє переважання технологічно сучасних, легких та довговічних матеріалів над традиційними природними аналогами.

Найбільш поширені типи облицювання – керамограніт, фіброцементні

плити, полімерні матеріали, алюмінієві композитні панелі та металеві касети. Первинно для облицювання застосовували природний камінь (мармур, граніт, базальт). Такі матеріали характеризуються високою міцністю, довговічністю, стійкістю до атмосферних впливів та низьким водопоглинанням. Проте значна маса та висока вартість роблять їх застосування економічно та конструктивно обмеженим, особливо у висотному будівництві.

Одним із найпопулярніших облицювальних матеріалів сучасних вентильованих фасадів є керамограніт. Він виготовляється шляхом спікання суміші глини, польового шпату, кварцового піску та пігментів під час випалу за температури близько 1200 °C, що забезпечує його надзвичайну міцність, низьку пористість та високу стійкість до стирання. Керамограніт вирізняється екологічністю, звукоізоляційними властивостями, негорючістю, стабільністю під впливом температурних коливань та універсальністю монтажу. Завдяки цьому він часто використовується для облицювання цокольних частин та нижніх поверхів будівель, де діє найбільше експлуатаційне навантаження. Основним недоліком є значна маса плит, що спричиняє необхідність посилення металокаркаса та ретельного проєктування кріпильних елементів.

Фіброцементні плити – це композитний матеріал на основі цементу та волокнистих наповнювачів, що забезпечують високу міцність на вигин і стійкість до раптових температурних перепадів. Він характеризується відмінними акустичними та теплоізоляційними властивостями, стійкістю до грибкових уражень, ультрафіолетового випромінювання та корозії. Зазвичай фіброцемент кріпиться за допомогою відкритих клямерів, що спрощує монтаж, але потребує високої точності розмітки.

ПВХ-панелі є сучасною альтернативою природному каменю та керамограніту. Процес їх виробництва базується на полімеризації продуктів нафтохімічної промисловості та хлориду натрію. Вироби характеризуються малою вагою, гідроізоляційністю, корозійною стійкістю та простою технологією монтажу. Проте недоліком є зниження міцності та поява крихкості при низьких температурах. Для усунення цих негативних

властивостей матеріал армують мінеральними наповнювачами або скловолокном.

Важливе місце на ринку фасадних матеріалів займають алюмінієві композитні панелі (АКП). Вони поєднують малу вагу, високу пластичність, естетичність, стійкість до ультрафіолету та здатність витримувати температурні коливання від –58 °С до +80 °С. Панелі є важкозаймистими (клас Г3–Г4), а кількість токсичних продуктів при горінні мінімальна. Основними недоліками є можливість утворення вм’ятин та подряпин у разі механічного впливу та ризик корозії місць порушення лакофарбового покриття.

До групи спеціалізованих облицювальних матеріалів також належать:

– HPL-панелі (ЛВД-панелі) – пресовані під високим тиском багатошарові композити з паперу, смол і деревного волокна; відзначаються малою вагою, хімічною стійкістю, негорючістю та високою довговічністю, але мають високу вартість;

– лінійні (лініарні) металеві панелі, що забезпечують чітку геометрію фасаду та підвищену жорсткість кріплення;

– фасадне скло (заламіноване, армоване, тоноване) – використовується для створення світлопрозорих огороджень з високим рівнем інсоляції, але потребує складних монтажних рішень;

– сонячні панелі, що водночас виконують роль облицювання та генерують електроенергію; це один із найдорожчих, але найбільш інноваційних варіантів обробки фасаду.

Комплексна оцінка наведених матеріалів свідчить, що вибір облицювального шару має ґрунтуватися на конструктивних можливостях будівлі, нормативних вимогах, кліматичних умовах, довговічності, пожежній безпеці та економічній обґрунтованості.

3 РОЗРОБКА ТЕХНІКО – ТЕХНОЛОГІЧНИХ РІШЕНЬ ЩОДО ВЛАШТУВАННЯ НАВІСНИХ ФАСАДНИХ СИСТЕМ

3.1 Пропозиції щодо вдосконалення конструктивного устрою НФС

Детальний аналіз конструктивних елементів навісних фасадних систем показав, що однією з ключових причин підвищених тепловтрат є недостатня ефективність вузлів кріплення паро- та гідроізоляційного шару, а також обмежена зносостійкість традиційних ізоляційних матеріалів рулонного типу. Використання геотекстилю або поліпропіленових мембран передбачає монтаж полотнищ з перекриттям (нахлестом), що потребує застосування значної кількості кріпильних елементів. Це не лише ускладнює технологію монтажу і збільшує його вартість, але й створює додаткові потенційні місця дефектів, через які може відбуватися неконтрольоване зволоження та охолодження утеплювача.

Як показує практика експлуатації, порушення герметичності у місцях стику полотен, недостатній притиск або деформація кріплень призводять до втрати пароізоляційної суцільності. У результаті у конструкції виникають умови для природного перезволоження теплоізоляції, що спричиняє різке зниження її теплотехнічної ефективності та прискорене руйнування матеріалу. Враховуючи ці недоліки, виникає необхідність у впровадженні більш надійних та технологічно досконалих рішень.

З метою підвищення експлуатаційної надійності фасадних систем та зменшення експлуатаційних витрат запропоновано заміну традиційних рулонних матеріалів (геотекстилю, мембран) на інноваційне покриття – двокомпонентну бітумно-полімерну мастику холодного напилення («рідку гуму»). На відміну від рулонних матеріалів, мастика утворює безшовний гідроізоляційний шар, який має підвищену еластичність, адгезію до основи та здатність компенсувати деформації огороджувальних конструкцій без утворення тріщин. Суцільність нанесеного шару мінімізує ризики проникнення

вологи, а однорідна структура покриття забезпечує стабільні паропроникні та теплотехнічні характеристики протягом всього терміну служби.

Рідка гума також характеризується покращеними теплозахисними властивостями, що зменшує інтенсивність теплових потоків, спрямованих з внутрішніх приміщень до зовнішнього середовища. Це дозволяє підвищити енергоефективність фасадної конструкції без збільшення товщини утеплювача або зміни його щільності.

Для підтвердження технологічної та енергетичної доцільності застосування мастики було проведено порівняльний аналіз двох варіантів фасадної конструкції:

1. з використанням рулонного гідроізоляційного матеріалу;
2. з використанням бітумно-полімерної мастики.

У ході дослідження виконано тепловолого-технічні розрахунки, розроблено графічні залежності розподілу температури в товщі фасадної системи та визначено вплив типу гідроізоляційного шару на ризик конденсації водяної пари та вологісний режим утеплювача.

Об’єктом дослідження було обрано адміністративну будівлю висотою три поверхи, розташовану в місті Рівне на перетині вулиць Базарної та Лева Яшина. Кліматичні умови району визначено відповідно до чинних нормативних документів [17], на основі яких прийнято розрахункові параметри зовнішнього повітря, температурних коливань та вологості атмосферного середовища.

$t_н$ = мінус 24 °С - температура зовнішнього повітря найбільш холодної п'ятиденки при забезпеченості 0,92;

$t_от$ = плюс 0,2 °С - середня температура періоду з температурою зовнішнього повітря нижче плюс 8 °С;

$z_от$ = 204 доби - тривалість опалювального періоду (кількість днів зі середньодобовою температурою нижче +8 °С);

$v_п$ = 4,2 м/с - максимальна із середніх швидкостей вітру по румбах за січень;

$\varphi_н$ = 86 % - середня місячна відносна вологість повітря найхолоднішого місяця.

Умови експлуатації конструкції – Б.

Умови внутрішнього мікроклімату в приміщенні [9]:

tв = +20 °С – розрахункова температура повітря у приміщенні;

$\varphi_в$ = 60 % – відносна вологість повітря;

в = 0,3 м/с – швидкість руху повітряних мас.

Таблиця 3.1 – Теплотехнічні характеристики матеріалів для фасадів із мінераловатним утеплювачем

Найменування матеріалу	Густина ρ, кг/м³	Товщина δ, м	Тепло-провідність λ, Вт/(м·°С)	Тепло-усвоєння s, Вт/(м²·°С)
Вапняно-піщаний розчин Dufa	1600	0,012	0,81	9,76
Кладка з керамічної цегли на цементно-піщаному розчині	1600	0,38	0,64	8,48
Мінераловатна плита ROCKWOOL «Лайт-Баттс»	180	0,10	0,041	0,81
Гідро-вітрозахисна мембрана «Ізоспан QA Proff»	70	0,0016	0,17	3,53
Повітряний прошарок	–	–	R_p = 0,15 (м²·°С)/Вт	0
Керамогранітні плити «Kerama Terrakot»	2800	0,0075	3,49	25,04

Таблиця 3.2 – Склад елементів та їх основні показники для конструкції із застосуванням бітумно-полімерної мастики

Найменування матеріалу	Густина ρ, кг/м³	Товщина δ, м	Тепло-провідність λ, Вт/(м·°С)	Тепло-усвоєння s, Вт/(м²·°С)
Вапняно-піщаний розчин Dufa	1600	0,012	0,81	9,76
Кладка з керамічної цегли на цементно-піщаному розчині	1600	0,38	0,64	8,48

Продовження таблиці 3.2

Мінераловатна плита ROCKWOOL «Лайт-Баттс»	180	0,05	0,041	0,81
Бітумно-полімерна мастика «Дорфлекс»	1000	0,002	0,27	6,80
Повітряний прошарок	–	–	R_p = 0,15 (м²·°С)/Вт	0
Керамогранітні плити «Kerama Terrakot»	2800	0,0075	3,49	25,04

Спочатку виконувався теплотехнічний розрахунок огороджувальних конструкцій згідно з методикою, представленої у ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010.

Градусо-добу опалювального періоду визначено за такою формулою:

$$ГДОП = (t_в - t_{от})\, z_{от}, \quad (3.1)$$

$$ГДОП = (20\text{-}0{,}2)\cdot 204 = 4039{,}2 \text{ град/добу.}$$

Наведений опір теплопередачі огороджувальної конструкції:

$$R = \sum_{i=1}^{n} \frac{\delta_i}{\lambda_i} \quad (3.2),$$

де

Матеріал	δ, м	λ, Вт/(м·°С)
Вапняно-піщаний розчин	0,012	0,81
Цегла керамічна	0,38	0,64
Мінеральна вата	0,05	0,041
Бітумно-полімерна мастика	0,002	0,27
Мембрана/Ізоспан	0,0016	0,17
Керамограніт	0,0075	3,49
Повітряний прошарок	R = 0,15	

$$R_1 = \frac{0.012}{0.81} = 0.0148$$

$$R_2 = \frac{0.38}{0.64} = 0.5938$$

$$R_3 = \frac{0.05}{0.041} = 1.2195$$

$$R_4 = \frac{0.002}{0.27} = 0.0074$$

$$R_5 = \frac{0.0016}{0.17} = 0.0094$$

$$R_6 = \frac{0.0075}{3.49} = 0.0021$$

Повітряний прошарок: $R_7 = 0.15$

Сумарний опір:

R=0,0148+0,5938+1,2195+0,0074+0,0094+0,0021+0,15

R=1,997

Приведений опір теплопередачі:

$$R_{\text{пр}} = \frac{1}{\alpha_{\text{в}}} + R + \frac{1}{\alpha_{\text{н}}} \quad (3.3)$$

α_v = 8,7 Вт/(м²·°С) – тепловіддача внутрішньої поверхні

α_n = 23 Вт/(м²·°С) – тепловіддача зовнішньої поверхні

$$R_{\text{пр}} = \frac{1}{8,7} + 1,997 + \frac{1}{23}$$

Rпр=0,115+1,997+0,043=2,155

Розрахуємо значення температури в площині можливої конденсації згідно ДБН В.2.6-31:2021:

$$\tau_i = t_{\text{в}} - (t_{\text{в}} - t_{\text{н}}) \frac{\left(\frac{1}{\alpha_{\text{в}}} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \cdots + \frac{\delta_{\text{i}}}{\lambda_{\text{i}}}\right)}{R_{\text{пр}}} \quad (3.4)$$

де: tв=20◦С – розрахункова внутрішня температура;

tн=−24◦С – розрахункова зовнішня температура для м. Рівне;

$\alpha_{\text{в}}$=8,7 Вт/(м^2·◦С) – коефіцієнт тепловіддачі внутрішньої поверхні;

δ_{i} – товщина і-го шару, м;

λ_{i} – коефіцієнт теплопровідності і-го шару, Вт/(м·°С);

$R_{\text{пр}}$ – приведений опір теплопередачі для всієї конструкції, $R_{\text{пр}}$ =2,16 м^2·◦С/Вт;

$\tau_{\text{межа цегла/вата}}$ =20 – (20-(-24)) 0,72/2,16 = 5,2 ◦С

Результати розрахунків зводимо до таблиць 3.3 та 3.4

Таблиця 3.3 – Зміна температури в товщі навісного утеплення для варіанта з гідро-вітрозахисною мембраною (Ізоспан), м. Рівне

Параметр / значення	1	2	3	4	5	6	7
R_i, м²·°С/Вт	0,11	0,13	0,72	3,16	3,17	3,32	3,32
τ_i, °С	18,56	18,30	10,58	−21,34	−21,47	−23,43	−23,43

Таблиця 3.4 – Параметри температурного режиму окремих елементів огороджувальної конструкції з використанням бітумно-полімерної мастики, м. Рівне

Параметр / значення	1	2	3	4	5	6	7
R_i, м²·°С/Вт	0,11	0,13	0,72	1,94	1,95	2,10	2,10
τ_i, °С	17,74	17,33	5,22	−19,82	−20,03	−23,11	−23,11

Аналіз розрахунків показав, що в обох випадках процес падіння температури практично ідентичний. Різкий перепад спостерігається в утеплюючому шарі, що оберігає основою матеріал огородження – цегляну кладку на цементно – піщаному розчині – від руйнування.

При застосуванні двокомпонентної гідроізоляції спільно з мінераловатним утеплювачем термічних показників повітря, що проходить крізь зовнішню стіну, відбувається інтенсивніше (різниця становить від 1 до 6 ℃), що є допустимою похибкою при проектуванні систем інженерного забезпечення будівлі. Цей факт підтверджує можливість застосування інноваційної техніки монтажу фасадів навісного типу під час реконструкції будівельних об’єктів.

Крім того, різниця товщин конструкцій з ізоляційними парами «мінвата – полімерна мастика» та «базальтове волокно – геотекстиль» становить близько 5 см. Цей факт сприяє використанню сучасних технологій зовнішнього утеплення будівель для зниження навантаження на несучі елементи каркасу.

Далі проведено оцінку теплового захисту удосконаленої системи навісного фасаду. Для цього знайдено величину масивності огороджувального елемента:

$$D = \sum R_i S_i \quad (3.5)$$

де S_i – коефіцієнт теплозасвоєння (при періоді 24 год), Вт/(м² ºС).

Вентиляційний зазор, а також наступні за ним шари огороджувальної конструкції виключаються із розрахунку. Тоді формула (3.5) матиме вигляд:

$$D_{н.с.} = \frac{\delta_1}{\lambda_1} \cdot s_1 + \frac{\delta_2}{\lambda_2} \cdot s_2 + \frac{\delta_3}{\lambda_3} \cdot s_3 + \frac{\delta_4}{\lambda_4} \cdot s_4 \quad (3.6)$$

D = 6,2

5<6,2<7 – конструкція характеризується середньою масивністю, необхідний додатковий розрахунок теплозасвоєння огорожі.

Оцінка теплонакопичувальної здатності огорожі:

$$q_{нак} = c \cdot \Delta t \cdot m^I, \quad (3.7)$$

де с = 1,005 кДж/(кг°С) – теплоємність повітря,

m^I - поверхнева щільність конструкції, кг/м²:

$$m^I = \sum \rho_i \cdot \delta_i \quad (3.8)$$

де ρі – щільність і-го шару огороджувальної конструкції, кг/м³,

Δt – різниця між внутрішньою температурою приміщення та розрахунковою температурою шарів конструкції, затримують тепло, °С:

$$\Delta t = t_в - t_1 \quad (3.9)$$

де t_1 - температура шарів конструкції, що затримують тепло, °С, визначається за графіком.

$$\Delta t = 20 - 16{,}98 = 3{,}02 \text{ °C}$$

$$m^I = 0{,}012 \cdot 1600 + 0{,}38 \cdot 1600 = 627{,}2 \text{ кг/м²}$$

Теплонакопичувальна здатність навісного фасаду:

$$q_{нак} = 1{,}005 \cdot 627{,}2 \cdot 3{,}02 = 1903{,}6 \text{ кДж/м}^2$$

Висока теплоакумулююча здатність зовнішнього утеплення дозволить тривалий час зберігати тепло у приміщенні, суттєво знижуючи споживання енергоресурсів.

Виконаємо додатковий розрахунок на теплозасвоєння фасадного утеплення навісного типу для підтвердження відповідності його характеристик нормативним вимогам.

Таблиця 3.5 - Технічні дані огорожі з теплозасвоєння

Найменування матеріалу	Опір теплопередачі R_i, (м²·°С)/Вт	Теплоусвоєння s, Вт/(м²·°С)	Масивність шару D
Вапняно-піщаний розчин Dufa	0,0148	9,76	0,14
Кладка з керамічної цегли на цементно-піщаному розчині	0,5937	8,48	5,03
Мінераловатна плита ROCKWOOL «Лайт-Баттс»	1,2195	0,81	0,99
Бітумно-полімерна мастика «Дорфлекс»	0,0074	6,80	0,05
Повітряний прошарок	0,15	0	0
Керамогранітні плити «Kerama Terrakot»	0,0022	25,04	0,05

Оскільки виконується умова: $D_1 + D_2 > 1$, отже розрахунок коефіцієнта теплозасвоєння внутрішньої поверхні зовнішньої стіни буде виконуватися за формулою:

$$Y_{нс} = \frac{R_1 \cdot S_1^2 + S_2}{1 + R_1 \cdot S_2} \qquad (3.10)$$

$$Y_{нс} = \frac{0{,}0148 \cdot 9{,}76^2 + 8{,}48}{1 + 0{,}0148 \cdot 8{,}48} = \frac{9{,}8898}{1{,}1255} = 8{,}8 \text{ Вт/м}^{2o}\text{ C}$$

Отриманий результат доводить, що теплозасвоєння конструктивного складу відповідає нормам, що підтверджує можливість його використання у цивільних будинках.

Також у зв’язку із заміною матеріалу гідроізоляційного шару необхідно впевнитись у повітропроникності отриманої конструкції, та визначити ймовірність випадання конденсату на зовнішньої поверхні та в товщі стіновоїогорожі.

Необхідний опір навісного фасаду повітропроникнення визначається згідно з формулою:

$$R_{н}^{тр} = \frac{\Delta p}{G_{н}}, \quad (3.11)$$

де $G_н$ - нормативна повітропроникність зовнішньої стіни, що приймається рівною 0,5 кг/м²·год ;

Δр – різниця тисків повітря на зовнішній та внутрішній поверхнях огородження.

Щільність повітря визначається за такою формулою:

$$\rho = \frac{353}{t+273} \quad (3.12)$$

де t - температура повітря, приймається рівною $t_в$ при обчисленні щільності внутрішнього повітря або $t_н$ для розрахунку густини зовнішнього повітря відповідно.

Фактичний опір повітропроникненню багатошарової огороджувальної конструкції Ri, м²·ч·Па/кг, визначають як суму опорів повітропроникнення окремих шарів:

$$R_{i}^{ф} = \sum R_{ii} \quad (3.13)$$

де Rii - опір повітропроникненню і-го шару конструкції;

Тоді фактична повітропроникність дорівнюватиме:

$$G_{ф} = \frac{\Delta p}{R_{ii}^{ф}} \quad (3.13)$$

Результати обчислень представлені нижче:

Таблиця 3.6 – Параметри зовнішнього утеплення по повітропроникненню

Найменування матеріалу	Товщина δ, м	Опір повітро-проникненню R_a, м²·год·Па/кг
Вапняно-піщаний розчин Dufa	0,012	142
Кладка з керамічної цегли на цементно-піщаному розчині	0,38	18
Мінераловатна плита ROCKWOOL «Лайт-Баттс»	0,05	2
Бітумно-полімерна мастика «Дорфлекс»	0,002	80
Повітряний прошарок	0,03	–
Керамогранітні плити «Kerama Terrakot»	0,0075	0,5

Фактичний опір повітропроникнення дорівнюватиме:

$R = 142+18+2+80 = 242$ м²·ч·Па/кг, що перевищує необхідну величину.

Фактична маса повітря, що проходить через товщу огородження:

$G_ф = 20,6/242 = 0,085$ кг/м²·ч

Виходячи з розрахунків, випливає, що запропонований склад конструкції відповідає всім вимогам щодо повітроізоляції, запобігаючи приміщенням від вихолоджування в зимовий період та проникнення зовнішнього повітря у теплий період року.

За отриманими результатами видно, що пропонована конструкція зовнішньої огорожі задовольняє всім вимогам з теплового захисту, теплозасвоєння та повітропроникнення. Згідно з розрахунками, представленим вище, випадання конденсаційної вологи, як на внутрішній поверхні фасадного утеплення, так і в товщі конструкції, що захищає, відбуватися не буде. Розроблена система навісного фасадного утеплення рекомендується для монтажу у цивільних будівлях.

3.2 Пропозиції щодо підвищення ефективності виконання робіт з монтажу

Установка фасадів навісного типу із застосуванням гумової гідроізоляції за загальним принципом схожа з облаштуванням фасадних систем традиційного наповнення.

Монтажні роботи починаються з очищення поверхонь зовнішніх стін від раніше нанесених на них оздоблювальних матеріалів з наступною розміткою згідно з ПОР. Після чого встановлюють вертикальні та горизонтальні металеві профілі, що утворюють каркас майбутнього огородження. У порожнини, утворені напрямними каркасної системи, укладають утеплювач (мінеральну вату або пінополістирольну екструзію), а наступним шаром здійснюють роботи з гідроізоляції фасаду.

На відміну від рулонних гідроізоляційних матеріалів, що закріплюються

за допомогою тарілчастих дюбель крізь товщу утеплювача, бітумно - полімерну мастику напилюють на поверхню огорожі при допомоги двоканального розпилювача.

Спочатку площу покриття очищають від пилу і злегка зволожують за допомогою розпилювальної установки. Потім підготовлену бітумну масу наносять під тиском на робочу зону товщиною 2 мм, що відповідає 1 шару. Процес твердіння матеріалу здійснюється в природних умовах, тривалість застигання залежить від температури навколишнього повітря, за якої здійснюються монтажні роботи Це дозволяє проводити роботи з встановлення навісного утеплення послідовно – потоковим способом [3].

Завершальним етапом є виконання облицювання. Тип кріплень та технологія монтажу зовнішнього обрамлення залежить від матеріалу, який використовується при влаштуванні фасаду.

Для наочного подання скорочення термінів виробництва під час використання запропонованої конструкції були визначені трудовитрати та чисельність робітників при монтажі.

Технічні характеристики будівлі, необхідні для розрахунку:

- розміри у плані – 21,5 × 6,5 м
- висота поверху – 3,3 м
- кількість поверхів – 3
- висота будівлі – 10,2 м
- кількість вікон – 78 шт.

Трудомісткість виробництва монтажу розраховується за такою формулою:

$$\mathrm{T_р} = \frac{V \cdot H_{\text{вр}}}{8}, \text{ чол-год} \qquad (3.14)$$

де V – обсяг робіт, що приймається з таблиці 3.7;

$H_{\text{вр}}$ - норма часу для кожного виду діяльності.

Таблиця 3.7 – Відомість обсягів монтажу

№ з/п	Найменування робіт	Од. вим.	Обсяг робіт
1	Влаштування навісного каркаса	м²	434
2	Розмітка та встановлення кронштейнів	т	0,27
3	Монтаж вертикальних напрямних	10 м	55,2
4	Монтаж горизонтальних напрямних	10 м	112,2
5	Теплоізоляційні роботи	м²	434
6	Напилення гідроізоляційного складу	100 м²	4,34
7	Облицювання будівлі	м²	434
8	Монтаж облицювальних панелей	100 м²	4,34
9	Влаштування примикань	10 м	74,9

Таблиця 3.8 – Трудовитрати при проведенні монтажних робіт

№ п/п	Найменування робіт	Обсяг робіт	Норм. витр. люд.-год	Факт. витр. люд.-год	Склад ланки
1. Влаштування несучого каркаса					
1.1	Розмітка та встановлення кронштейнів	0,27 т	7,6	0,26	Монтажник 4 розр. – 1, 3 розр. – 1
1.2	Монтаж вертикальних напрямних	55,2 (10 м)	1,3	8,97	Монтажник 4 розр. – 1, 3 розр. – 1
1.3	Монтаж горизонтальних напрямних	112,2 (10 м)	0,43	6,03	Монтажник 4 розр. – 1, 3 розр. – 1
2. Теплоізоляційні роботи					
2.1	Закріплення плит теплоізоляції	4,34 м²	0,34	0,18	Теплоізолювальник 4 розр. – 1, 3 розр. – 2
2.2	Напилення гідроізоляційного складу	4,34 (100 м²)	2,9	1,57	Гідроізолювальник 4 розр. – 1, 2 розр. – 1
3. Облицювання будівлі					
3.1	Монтаж облицювальних панелей	4,34 м²	2,2	1,19	Монтажник 4 розр. – 1, 3 розр. – 1
3.2	Влаштування примикань	74,9 (10 м)	0,88	8,24	Монтажник 4 розр. – 1, 3 розр. – 1
Усього трудових витрат:			–	26,45 люд.-год	

Час, що витрачається монтажниками для здійснення всієї послідовності операцій, обчислюється за такою формулою:

$$T=T_p/(n\cdot k), \text{ дні} \quad (3.15)$$

де n - кількість робітників у ланці, чол,

k - змінність, величину приймаємо рівну 2.

За отриманими даними було виконано графічне зображення тривалості робіт із встановлення навісного фасаду із застосуванням технології безшовного напилення.

Найменування робіт	Одиниці вимір	Нормативні витрати		Фактичні витрати		Кількість робітників у ланці	Липень–Серпень											
		люд.-год	маш.-зм	люд.-год	маш.-зм		1	2	5	4	5	6	7	8	10	11	12	31
							1	2	3	4	5	6	7	8	9	11	12	31
							1	1										
1 Улаштування несучого каркаса																		
Розмітка та установления кронштейнів	*t*	0,27	7,6	0,26	2	Монтажник 4 розр. – 1												
Монтаж вертикальних направлющих	10 m	55,2	8,97	0,18	1	Монтажник 4 розр. – 1												
2 Теплоізоляційні роботи																		
Вакріплення плит теплоізоляції	34	0,34	0,18	0,18	2	Термоізолю-вальник 4 рразр												
Напилення гідроізоляційного складу	100 m²	2,9	2,9	1,57	1	Пароізолю-вальник 4 розр. – 1												
3 Облицювання будівлі																		
Монтаж облицю-вальних панепей	*m²*	2,2	2,2	1,19	2	Монтажник 4 розр. – 1												
Улаштування роботи	10 m²	74,9	8,24	8,24	1	Монтажник 4 розр. – 1												

інноваційні матеріали — традиційні матеріали

Рисунок 3.1 – Графік виробництва робіт при монтажі фасадних конструкцій

Крім того, на графік були нанесені тимчасові відрізки, що відповідають тривалість монтажу зовнішнього утеплення традиційного типу.

Аналіз отриманих даних показав, що за чисельно рівному складі робочої ланки роботи з влаштування навісного фасаду запропонованим методом скорочуються в середньому на 1,5 – 2 дні по порівняно з традиційним способом – закріплення рулонних гідроізоляторів тарілчастими дюбелями [23]. Це досить актуально за сучасних прискорених темпів будівництва.

3.3 Оцінка ефективності запропонованих заходів

З метою визначення економічної та технічної доцільності застосування бітумно-полімерної мастики як гідроізоляційного шару у системах навісних вентильованих фасадів було виконано порівняльний аналіз традиційної технології (з використанням рулонної мембрани типу Ізоспан) та інноваційної методики напилення рідкої гуми. Розрахунки проводилися на основі локальних ресурсних кошторисів, сформованих у програмному комплексі Estimate, а також з урахуванням даних виробників та результатів технічних випробувань.

1. Порівняння вартості монтажних робіт

За результатами кошторисних розрахунків установлено, що вартість монтажу фасадних конструкцій із застосуванням рідкої гуми є вищою на 23 % порівняно з традиційним способом.

Структура витрат для обох варіантів суттєво відрізняється:

Традиційна технологія (Ізоспан):

- Матеріали – 62,6 %
- Фонд оплати праці – 32,4 %
- Експлуатація машин і механізмів – 5 %

Інноваційна технологія (рідка гума):

- Матеріали – 71 %
- Фонд оплати праці – 24,7 %
- Експлуатація машин і механізмів – 4,3 %

Спостерігається очевидна тенденція до зростання частки матеріальних витрат при одночасному зменшенні трудомісткості процесів. Механізація напилення дозволила скоротити витрати на оплату праці на 7,7 %, що свідчить про підвищення організаційно-технологічної ефективності та скорочення тривалості робіт. Це узгоджується із сучасними тенденціями прискореного та ресурсоефективного будівництва.

2. Порівняльна оцінка тривалості експлуатації та ремонтопридатності

За інформацією виробника бітумно-полімерної мастики (ТОВ «Інноваційні технології»), фактичний термін служби матеріалу становить 50–60 років, залежно від умов експлуатації. Це значно перевищує строк служби рулонних мембран (табл. 3.9).

Таблиця 3.9 – Порівняльна характеристика довговічності гідроізоляційних матеріалів

Матеріал	Мінімальний термін служби	При порушенні технології
Рулонна мембрана (Ізоспан)	5–7 років	2–3 роки
Бітумно-полімерна мастика	50–60 років	–

Аналіз експлуатаційного зношування Ізоспану (на прикладі адміністративної будівлі у м. Рівне) показав, що через 2,5–3 роки необхідний поточний ремонт, а після 6 років – капітальний ремонт. У той час як значення зносостійкості рідкої гуми протягом перших 10 років експлуатації становить приблизно 10–12 %, що фактично не вимагає втручання.

Таким чином, інноваційна система забезпечує не лише більшу довговічність, а й суттєво нижчу потребу в ремонтах у середньо- та довгостроковій перспективі.

3. Розрахунок річної економічної ефективності

Для оцінки економічного ефекту застосовано методику [6], згідно з якою річна економія визначається за формулою:

$$E_{річн} = З_1 - З_2 \quad (3.16)$$

де:

$З_1$ – річні експлуатаційні витрати при застосуванні рулонної гідроізоляції;

$З_2$ – відповідні витрати при використанні бітумно-полімерної мастики.

Експлуатаційні витрати враховують:

$$Z_1 = C_{смр1} + 0{,}15K_1,$$

$$Z_2 = C_{смр2} + 0{,}15K_2,$$

де

- $C_{смр1}$, $C_{смр2}$ – витрати на ремонти за весь період експлуатації;
- K_1,K_2 – капітальні вкладення при монтажі.

Відповідно до прийнятих нормативів було встановлено, що:

- витрати на ремонти традиційної системи приймаються рівними $1{,}5K_1$,
- витрати на ремонти інноваційної системи – $1{,}5K_2$, але фактично ремонтопридатність рідкої гуми значно вища, тому додаткові витрати мінімальні.

Розрахунки, проведені для 100 м² огороджувальної конструкції, показали: річна економія становить 13,6 %.

Це підтверджує доцільність застосування інноваційної технології, особливо з урахуванням її довговічності та нижчих експлуатаційних витрат протягом життєвого циклу будівлі.

4. Узагальнення результатів

Порівняльний аналіз двох систем утеплення дозволяє зробити такі висновки:

1. Інноваційна технологія має вищу початкову вартість (на 23 %), але забезпечує значно довший термін служби та нижчі експлуатаційні витрати.
2. Фонд оплати праці знижується на 7,7 %, що свідчить про підвищення технологічності та продуктивності виконання робіт.
3. Завдяки збільшенню довговічності та відсутності потреби в регулярних ремонтах річна економічна вигода становить 13,6 %.
4. Застосування рідкої гуми є технічно доцільним, економічно обґрунтованим та відповідає сучасним тенденціям енергоефективного і прискореного будівництва.

ВИСНОВКИ

1. Аналіз сучасних конструктивних схем навісних фасадних систем засвідчив, що сьогодні в будівельній практиці застосовується понад 20 варіантів їхнього виконання. Основними відмінностями між ними є конфігурація несівного каркаса, тип облицювальних матеріалів та спосіб їхнього кріплення. Узагальнені теплотехнічні показники таких конструкцій є близькими за значенням і залежать насамперед від умов експлуатації будівлі та правильності проєктних рішень.

2. Оцінка техніко-технологічних рішень існуючих фасадних систем показала, що одним із ключових чинників зниження енергоефективності навісного огородження є недосконаліть вузлів кріплення паро- та гідроізоляційного шару. Порушення цілісності цих елементів спричиняє природне перезволоження утеплювача, що веде до зниження його теплоізоляційної здатності та прискореного руйнування конструкції.

3. Аналіз ринку матеріалів, що використовуються в навісних фасадних системах, показав, що найбільшу частку зовнішнього утеплення становлять конструкції з використанням мінераловатних плит (приблизно 80 %), незважаючи на їхню схильність до зволоження. Як гідроізоляційний шар поширені рулонні матеріали (мембрани, геотекстиль), однак для їхнього монтажу потрібна значна кількість кріпильних елементів, що збільшує трудомісткість робіт та кількість містків холоду. Найпоширенішими облицювальними матеріалами є керамограніт, фіброцементні плити, композитні та полімерні панелі.

4. У роботі запропоновано заміну традиційної рулонної гідроізоляції Ізоспан QA proff на напилювану двокомпонентну бітумно-полімерну мастику «Дорфлекс». Результати теплотехнічних розрахунків підтвердили, що застосування рідкої гуми забезпечує необхідні тепло- та вологозахисні параметри огороджувальної конструкції, зменшує її масу та повністю усуває ризики, пов’язані зі стиками та перфорацією ізоляційного шару.

5. Розроблено комплекс організаційно-технологічних заходів, спрямованих на підвищення ефективності монтажу навісного фасаду із застосуванням технології холодного безшовного напилення ізоляційного шару. Встановлено, що фактична трудомісткість нанесення бітумно-полімерної мастики становить лише 1,8 люд.-год на 100 м², що підтверджує високу продуктивність та значне скорочення тривалості виконання робіт.

6. Економічна оцінка ефективності запропонованих заходів показала, що застосування рідкої гуми як альтернативи рулонним матеріалам дає можливість зменшити витрати на експлуатаційне обслуговування фасадної системи на 13,6 %, що в перерахунку на 100 м² огородження становить суттєву економію протягом усього життєвого циклу конструкції.

Узагальнюючи результати дослідження, можна стверджувати, що вдосконалена конструкція навісного фасадного утеплення з використанням бітумно-полімерної мастики повністю відповідає сучасним вимогам до енергоефективних будівель, забезпечує підвищену надійність і довговічність системи та є перспективним напрямом розвитку технологій утеплення та реновації зовнішніх огороджувальних конструкцій.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Aksamija A. Sustainable Facades: Design Methods for High-Performance Building Envelopes. Boston : Wiley, 2022. 312 p.

2. Al-Homoud M. Performance characteristics and practical applications of common building thermal insulation materials. Energy and Buildings. 2020. Vol. 229. DOI: https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110492.

3. Al-Sanea S., Zedan M. Improving the thermal performance of building envelopes: comparison of thermal insulation materials. Applied Energy. 2019. Vol. 250. P. 164–180.

4. ASHRAE Handbook – Fundamentals. Atlanta : ASHRAE, 2021. 1200 p.

5. Bajpai V., Kumar D. Advances in Polymer-Based Waterproofing Systems. Construction and Building Materials. 2021. Vol. 301. DOI: https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.124104.

6. Bednář T., Růžička V. Hygrothermal performance of external wall systems: experimental analysis. Buildings. 2021. Vol. 11(7). DOI: https://doi.org/10.3390/buildings11070301.

7. Berardi U. The evolution of thermal insulation materials. Energy and Buildings. 2019. Vol. 188–189. P. 58–77.

8. Building Enclosure Council. Design Guide for Ventilated Facades. Washington, 2020. 68 p.

9. CEN/TC 89. EN ISO 6946:2017 Building components and building elements – Thermal resistance and thermal transmittance.

10. CEN/TC 254. EN 13501-1:2019 Fire classification of construction products and building elements.

11. Chaiyapinunt S., et al. Long-term performance of bitumen-polymer waterproofing membranes. Journal of Building Engineering. 2022. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jobe.2022.105372.

12. De Angelis A., et al. Durability assessment of external thermal insulation composite systems. Construction and Building Materials. 2020. Vol. 260.

DOI: https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119697.

13. ДБН В.1.1-7:2016. Пожежна безпека об’єктів будівництва. [Чинний від 2017-06-01]. Київ : Мінрегіонбуд України, 2016. 97 с.

14. ДБН В.2.6-31:2021. Теплова ізоляція будівель. [Чинний від 2021-10-01]. Київ : Мінрегіон, 2021. 62 с.

15. ДБН В.2.6-33:2018. Конструкції зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією. [Чинний від 2019-01-01]. Київ : Мінрегіон, 2018. 54 с.

16. ДБН А.3.1-5:2016. Організація будівельного виробництва. [Чинний від 2017-01-01]. Київ : Мінрегіонбуд, 2016. 86 с.

17. ДБН А.2.2-3:2014. Склад та зміст проектної документації. [Чинний від 2014-01-01]. Київ : Мінрегіон, 2014. 64 с.

18. ДСТУ 8855:2019. Матеріали теплоізоляційні будівельні. Загальні технічні вимоги. [Чинний від 2020-01-01]. Київ, 2019. 32 с.

19. ДСТУ Б EN 13162:2012. Вироби для теплоізоляції будівель. Вироби з мінераловатних плит. [Чинний від 2012-01-01]. Київ, 2012.

20. Farahani A. Moisture accumulation in ventilated façades: numerical assessment. Applied Sciences. 2021. Vol. 11(9). DOI: https://doi.org/10.3390/app11093871.

21. Firmo J., Correia J. Assessment of façade cladding systems: materials and technologies. Journal of Façade Design & Engineering. 2020. DOI: https://doi.org/10.7480/jfde.2020.3.4353.

22. Heiselberg P. Ventilated façades: energy performance and durability. Aalborg University Press, 2020. 120 p.

23. ISO 9869-1:2014. Thermal insulation – Measurement of thermal resistance and thermal transmittance.

24. Lstiburek J. Ventilated Cladding and Building Enclosures. Building Science Press, 2020.

25. Mahdavi A. Moisture protection in building envelopes: review of current technologies. Energy and Buildings. 2022. DOI: https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.112312.

26. Матеріали компанії «Інноваційні технології». Паспорт та

результати випробувань бітумно-полімерної мастики «Dorflex». URL: https://innotech.ua (дата звернення: 10.10.2025).

27. Мінрегіон України. Каталог технічних рішень фасадних систем. Київ, 2023. 110 с.

28. Морозов О. М., Дубровський В. І. Теплофізика будівель і споруд : підручник. Київ : КНУБА, 2019. 328 с.

29. Наказ Мінрегіону України «Про затвердження методики визначення енергоефективності будівель». № 260 від 11.07.2018.

30. Парнет Б., Барсуков В. Фасадні системи навісного типу: конструктивні рішення та розрахунок. Львів : Будцентр, 2020. 240 с.

31. Postawa P. Ventilated façade systems – structural behaviour and durability. Journal of Civil Engineering. 2019. Vol. 67. P. 14–22.

32. Quezada J. Comparative analysis of façade insulation systems: mineral wool vs. spray-applied elastomers. Construction and Building Materials. 2023. Vol. 375. DOI: https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.131147.

33. Rakhuba O. Modern façade technologies in Eastern Europe. E3S Web of Conferences. 2022. DOI: https://doi.org/10.1051/e3sconf/202215802030.

34. Regulation (EU) 2018/844 of the European Parliament on the Energy Performance of Buildings Directive (EPBD).

35. RILEM Technical Committee. Durability of External Insulation Systems. RILEM Publications, 2020. 156 p.

36. Santos P., Rodrigues H. Thermal bridges and façade system performance. Energy Reports. 2021. Vol. 7. DOI: https://doi.org/10.1016/j.egyr.2021.02.023.

37. Smith T. Waterproofing and moisture protection in modern construction. London : CRC Press, 2021. 290 p.

38. Solar Decathlon Europe. Envelope Innovations Report. Madrid, 2022. 92 p.

39. Стельмах С. І., Корнієнко М. В. Енергоефективні огороджувальні конструкції : монографія. Харків : ХНУБА, 2021. 214 с.

40. Зотченко Н. В., Гордєєв В. В. Системи фасадної теплоізоляції: технічний аналіз та практика застосування. Київ : Ліра-К, 2020. 180 с.