

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Факультет будівництва, архітектури та дизайну

(повне найменування факультету)

Кафедра будівельного виробництва та управління проектами

(повне найменування кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проекту (роботи)

магістра

(ступінь вищої освіти)

на ТЕМУ ТЕОРЕТИЗОВАНІ ЗАСАДИ З УДОСКОНАЛЕННЯ
УЛАШТУВАННЯ НАВІСНИХ ФАСАДІВ БУДІВЕЛЬ
THEORIZED PRINCIPLES FOR IMPROVING THE ARRANGEMENT OF
HINGED FACADES OF BUILDINGS

Виконав: студент(ка) 2 курсу, групи БАД-113м
Спеціальності 192 Будівництво та цивільна
інженерія

(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)

Промислове та цивільне будівництво

Євсейкін К.С.

(прізвище та ініціали)

Керівник Левченко Н.М.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(прізвище та ініціали)

2024

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Факультет Будівництва архітектури та дизайну
Кафедра будівельного виробництва та управління проектами
Ступінь вищої освіти другий (магістерський)
Спеціальність 192 Будівництво та цивільна інженерія
(код і найменування)
Освітня програма (спеціалізація) Промислове та цивільне будівництво
(назва освітньої програми (спеціалізації))

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри БВУП, к.т.н, доц.
О.М. Назаренко
“ ” 20__ року

З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТА(КИ)

ЄВСЕЙКІН Костянтин Станіславович
(ПРИЗВИЩЕ, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту (роботи) Теоретизовані засади з удосконалення улаштування навісних фасадів будівель. Theorized principles for improving the arrangement of hinged facades of buildings.

керівник проєкту (роботи) д.н., професор ЛЕВЧЕНКО Наталя Михайлівна,
(науковий ступінь, вчене звання, ПРИЗВИЩЕ, ім'я, по батькові)

затверджені наказом закладу вищої освіти від “ ” 2024 року №

2. Строк подання студентом проєкту (роботи) 12 грудня 2024 року

3. Вихідні дані до проєкту (роботи) рекомендована література, технічне завдання, констркивні та фізичні особливості фасадів

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Аналіз теоретичних аспектів сучасних підходів до утеплення фасадів. 2. Аналіз технології ефективного утеплення матеріалами підвищеного теплового супротиву. 3. Теоретизація оптимізації улаштування систем утеплення фасадів.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) Слайди презентації, графічний матеріал 7-8 аркушів А1 розруковані на А3 зброшуровані

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
Аналіз теоретичних аспектів сучасних підходів до утеплення фасадів	Левченко Н.М., професор		
Аналіз технології ефективного утеплення матеріалами підвищеного теплового супротиву	Левченко Н.М., професор		
Теоретизація оптимізації улаштування систем утеплення фасадів	Левченко Н.М., професор		
Нормоконтролер	Левченко Н.М., професор		

7. Дата видачі завдання “ 14 ” жовтня 2024 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Аналіз теоретичних аспектів сучасних підходів до утеплення фасадів	1-4 тиждень	Розділ 1
2	Аналіз технології ефективного утеплення матеріалами підвищеного теплового супротиву	5–8 тижні	Розділ 2
3	Теоретизація вибору ефективних матеріалів для улаштування систем утеплення фасадів	9–11 тижні	Розділ 3
8	Оформлення графічної частини	12-13 тиждень	
9	Нормоконтроль та рецензування	14–15 тижні	
10	Захист роботи.	16 тиждень	

Студент(ка)

(підпис) Костянтин ЄВСЕЙКІН
(ім'я ПРИЗВИЩЕ)

Керівник проекту (роботи)

(підпис) Наталя ЛЕВЧЕНКО
(ім'я ПРИЗВИЩЕ)

РЕФЕРАТ

Структура та обсяг роботи. Робота являє собою наукове дослідження, теоретизації удосконалення улаштування навісних фасадів будівель. Робота складається зі вступу, трьох розділів, висновків і рекомендацій, списку використаних джерел.

Методи дослідження - у роботі здійснено теоретичне дослідження із застосуванням комп'ютерних технологій та програмного забезпечення, методів операційного аналізу, когнітивної структуризації знань, системного аналізу, теорії прийняття рішень, а також лінійного та нелінійного програмування.

Метою роботи є дослідження теоретичних та методологічних підходів до можливого удосконалення технологій утеплення навісними фасадами житлових будинків із застосуванням сучасних будівельних матеріалів.

Перший розділ присвячено аналізу різновидів фасадних систем утеплення та технологій їх виконання, а також загальному теоретичному опису матеріалів і систем, що використовуються для утеплення будівель і споруд.

У другому розділі здійснено детальний розгляд технологій ефективного утеплення фасадів із використанням сучасних матеріалів; описані технологічні особливості окремих систем утеплення фасадів, проведено порівняльний аналіз, наведено їхні переваги та недоліки. Представлені найбільш популярні матеріали з детальним описом їхніх характеристик.

Третій розділ містить обґрунтування вибору матеріалів для фасадних систем утеплення, включно з вибором матеріалів для утеплювального шару, технологій та матеріалів кріплення до стіни, матеріалів для створення каркасів.

Об'єкт дослідження – технології утеплення фасадів житлових будівель.

Предмет дослідження – теоретизовані засади із удосконалення вентильованих фасадів.

Актуальність теми обумовлена необхідністю забезпечення ефективного використання енергоресурсів та зменшення енергопотреб будівель.

Ключові слова: системи фасадів будівель, теплова ізоляція, вентильований фасад.

ABSTRACT

Structure and scope of work. The work is a scientific study, theorizing the improvement of the arrangement of hinged facades of buildings. The work consists of an introduction, three chapters, conclusions and recommendations, a list of used sources.

Research methods - the work includes theoretical research using computer technologies and software, methods of operational analysis, cognitive structuring of knowledge, system analysis, theory of decisions, as well as linear and non-linear programming.

The method of work is the study of theoretical and methodological approaches to the possible improvement of insulation technologies with hinged facades of residential buildings using modern building materials.

The first chapter is devoted to the analysis of the types of facade insulation systems and their implementation technologies, as well as a general theoretical description of materials and systems used for the insulation of buildings and structures.

In the second chapter, a detailed review of the technologies of effective insulation of facades using modern materials is carried out; the technological features of individual facade insulation systems are described, a comparative analysis is carried out, their advantages and disadvantages are given.

The third section contains the rationale for the selection of materials for insulation of facade systems, including the selection of materials for the insulation layer, technologies and materials for fastening to the wall, materials for creating frames.

The object of research is facade insulation systems.

The subject of the study is the theoretical principles of improving ventilated facades.

The topicality of the topic is due to ensuring the efficient use of energy resources and reducing the energy consumption of buildings.

Keywords: building facade systems, thermal insulation, ventilation facade.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ТЕОРЕТИЧНИХ АСПЕКТІВ СУЧАСНИХ ПІДХОДІВ ДО УТЕПЛЕННЯ ФАСАДІВ.....	9
1.2 Базові системи монтажу елементів конструкцій фасадів та різновиди виконання різних систем	20
1.3 Сучасний стан матеріалів які використовуються в системах енергозбереження будівель	27
РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЇ ЕФЕКТИВНОГО УТЕПЛЕННЯ МАТЕРІАЛАМИ ПІДВИЩЕНОГО ТЕПЛОВОГО СУПРОТИВУ	33
2.1 Дослідження та оцінка конструктивного пристрою, технологій монтажу та вузлів кріплення навісних фасадів систем утеплення.....	33
2.2 Дослідження та оцінка матеріалів, які застосовуються в конструкціях.....	48
РОЗДІЛ 3. ТЕОРЕТИЗАЦІЯ ОПТИМІЗАЦІЇ УЛАШТУВАННЯ СИСТЕМ УТЕПЛЕННЯ ФАСАДІВ.....	56
3.1 Розробка теоретизованих підходів до вдосконалення систем устрою навісних фасадів.....	56
3.2 Визначення теретизованого енергоспоживання будівлі, при використанні першого та другого варіантів утеплення, згідно таблиць 3.1 та 3.2.....	66
3.3 Визначення засад з можливого удосконалення вибору матеріалів каркасів кріплення шарів навісних фасадів.....	71
3.4 Визначення оптимізації процесу зведення вентильованих фасадів	73
ВИСНОВКИ	82
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	85

ВСТУП

В Україні останніми роками питання енергозбереження стає дедалі актуальнішим. Зважаючи на постійне зростання цін на енергоносії, з'являється нагальна потреба у їхній економії.

Значний внесок у цьому напрямку належить скороченню витрат паливно-енергетичних ресурсів, адже заходи, спрямовані на енергозбереження, є значно економічнішими за збільшення виробництва енергоносіїв. У багатьох розвинених країнах енергозбереження розглядають як одну з ключових економічних проблем, оскільки енерговитрати становлять значну частину собівартості будь-якої продукції чи послуг, що зумовлює законодавче регулювання в цій сфері.

В Україні приблизно половина експлуатованих будівель складає житловий фонд, на опалення якого витрачається велика кількість енергоресурсів. Тому підвищення експлуатаційних характеристик житлових будівель має першорядне значення для економії енергоресурсів.

Житлово-комунальне господарство є великим споживачем паливно-енергетичних ресурсів, а отже, має значний потенціал для енергозбереження.

Питання теплоізоляції житла є актуальним для багатьох українців не лише через кліматичні умови, а й через подорожчання енергоносіїв та низьку якість теплоізоляції багатоквартирних будинків.

Для вирішення проблеми енергозбереження будівель ефективно використовуються два основні види фасадної ізоляції: контактна та вентильована. Контактні системи передбачають безпосередній контакт декоративного шару з теплоізоляційним матеріалом, що зазвичай виконується мокрим методом із застосуванням штукатурних або шпаклівкових сумішей. Вентильовані системи включають повітряний прошарок між ізоляцією і зовнішнім шаром, що дозволяє зменшити втрати тепла.

Варіантів систем утеплення існує безліч, і вони відрізняються матеріалами, що використовуються для кріплення теплоізоляційного шару та

декоративних покриттів. Існуючі системи мають певні недоліки, зокрема обмежений термін експлуатації полімерних матеріалів. Одним із рішень є використання теплоізолюючих фарб, що формують шар з високим опором теплопередачі, а також матеріалів на основі рідкого скла з добавками.

Актуальність теми утеплення фасадів будинків зумовлена високою вартістю енергоносіїв та потребою в збереженні тепла, адже теплоізоляційні заходи забезпечують комфортні умови в приміщенні та дозволяють знизити витрати на опалення. Сучасні методи утеплення фасадів дозволяють захистити будівлі від температурних коливань та атмосферного впливу, зберігаючи при цьому естетичний вигляд.

Метою роботи є дослідження теоретичних та методологічних підходів до можливого удосконалення технологій утеплення навісними фасадами житлових будинків із застосуванням сучасних будівельних матеріалів.

Основні завдання дослідження включають:

- вивчення теоретичних і методологічних аспектів сучасних рішень для ефективного утеплення фасадів;
- аналіз видів систем утеплення та технологій їх виконання;
- оцінка матеріалів, що застосовуються в системах енергозбереження;
- визначення переваг і недоліків популярних систем.

Об'єктом дослідження є технології утеплення фасадів житлових будівель.

Предметом - теоретизовані засади із удосконалення вентильованих фасадів.

Робота також досліджує актуальний стан технологій утеплення фасадів та аналізує перспективи їх удосконалення.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ТЕОРЕТИЧНИХ АСПЕКТІВ СУЧАСНИХ ПІДХОДІВ ДО УТЕПЛЕННЯ ФАСАДІВ

1.1 Аналіз стану зовнішнього та внутрішнього утеплення систем утеплення будівель

Надійна теплоізоляція стін є основою енергоефективного будівництва. Зекономлені кошти на утепленні можуть призвести до підвищених витрат на опалення в майбутньому, тому важливо обирати якісні матеріали. Існують два основних підходи до утеплення: внутрішній та зовнішній, і кожен з них має свої особливості.

Внутрішнє утеплення має певні недоліки. По-перше, у разі багатошарових стінових конструкцій може виникати порушення паропроникності, що вимагає додаткового пароізоляційного шару для запобігання зволоженню утеплювача. Неналежа вентиляція може призвести до накопичення конденсату. Крім того, утеплення зсередини скорочує корисний простір, що робить зовнішнє утеплення більш популярним варіантом.

Однак, є випадки, коли утеплення зсередини є єдиним можливим рішенням, наприклад, для дерев'яних будинків або будівель з особливим зовнішнім оформленням.

Переваги зовнішнього утеплення полягають у збереженні внутрішньої площі приміщення, захисті стін від холоду, а також у подовженні терміну служби будівлі. При цьому навантаження на несучі стіни залишається незмінним, що знижує вплив на фундамент. Важливим аспектом зовнішнього утеплення є те, що воно запобігає промерзанню стін. При внутрішньому утепленні лише зменшується втрата тепла, але сама стіна може продовжувати промерзати за низьких температур. Це створює ризик накопичення конденсату між стіною та утеплювачем, що може призвести до утворення цвілі й підвищення вологості, скорочуючи термін експлуатації стін. Зовнішнє

утеплення переносить точку роси до шару теплоізоляції, що зменшує ризик таких проблем.

Розгляньмо різні сучасні системи вентильованих фасадів та їхні конструктивні особливості.

Система “Марморок”

Каркас системи “Марморок” складається з елементів, таких як кронштейни та профілі (вертикальні й горизонтальні). На вертикальних профілях, що розташовані з інтервалом 100 мм, є гачки для закріплення облицювальних матеріалів. Шар утеплювача фіксується тільки через систему профілів, без використання дюбелів. Після встановлення профілів теплоізоляційний шар закріплюється у створених комірках. Наступним кроком конструкцію покривають вітровологозахисною плівкою та посилюють додатковим шаром каркасу, що забезпечує надійну фіксацію утеплювача. Для облицювання використовують плитку “Марморок” з кам'яної крихти на цементній основі з водовідштовхувальним покриттям. У місцях кріплення облицювальна плита має спеціальні елементи для фіксації на фасаді.

Ця система вирізняється різноманітністю кольорів і конструктивних рішень окремих елементів, дозволяючи оформлювати віконні та дверні отвори, карнизи, дахи. Елементи обробки виготовляються з оцинкованої сталі з полімерним покриттям.

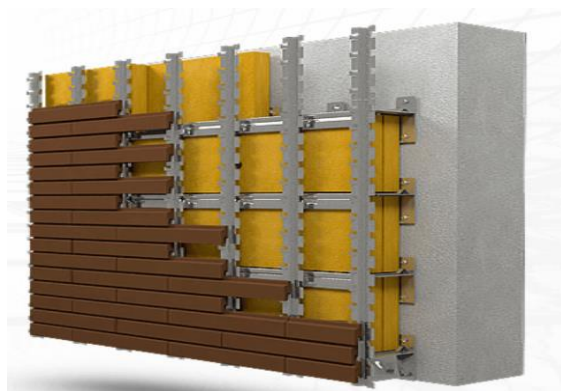
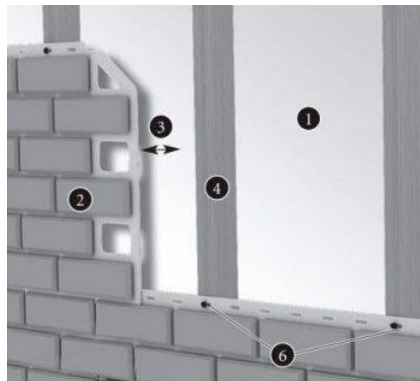


Рисунок 1.1 – Система Марморок

Система "Альта-Профіль" використовує вертикальні напрямні, до яких кріпиться облицювальний матеріал за допомогою спеціальних фіксуючих замків. Ці елементи встановлюються на каркас, що дозволяє утворити проміжок між утеплювачем та зовнішнім облицюванням. Така конструкція дає можливість вентилювати фасад, що запобігає накопиченню вологи та конденсату.

Для утеплення використовуються мінераловатні плити, які забезпечують якісну теплоізоляцію. Закріплення плит виконується за допомогою механічних кріплень — дюбелів, що надійно утримують утеплювач у конструкції. Вітро- та вологозахисні мембрани захищають утеплювач від зовнішніх впливів і зберігають його ефективність протягом усього терміну експлуатації.

Матеріали для облицювання в системі "Альта-Профіль" можуть бути різноманітними — від панелей з полімерних матеріалів до плит з декоративного каменю. Завдяки широкому вибору облицювальних матеріалів, система дозволяє створювати фасади різних стилів і кольорів.

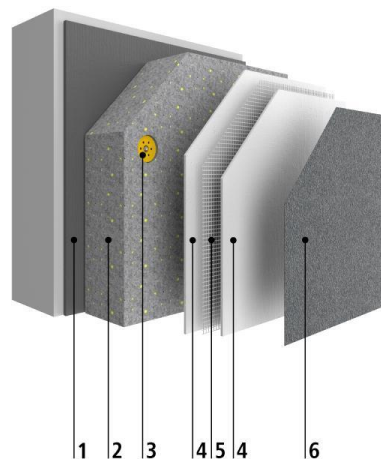


1 – стіна будинку; 2 – сайдинг; 3 - вентильований зазор; 4 - решетування; 6 - цвяхи

1.2 – Облаштування вентильованих фасадів

Система "Файнбір" базується на використанні металевих каркасів для монтажу фасадних панелей. Її конструкція передбачає встановлення утеплювача, який кріпиться на стіну за допомогою механічних кріплень, що дозволяє надійно фіксувати теплоізоляційний шар. Вітро- та вологозахисна мембрана запобігає попаданню вологи до теплоізоляції, а також забезпечує довговічність утеплення.

На каркасі встановлюються фасадні панелі з різних матеріалів, таких як фіброцемент, композитні панелі або метал. Завдяки наявності вентиляційного зазору між утеплювачем і фасадним покриттям система "Файнбір" сприяє циркуляції повітря, що запобігає накопиченню конденсату та продовжує термін служби фасаду.



1. Приклеювання; 2. Утеплювач; 3. Механічне кріплення; 4. Армуючий клей; 5. Армуюча сітка; 6. Грунтовка; 7. Фінішний декоративний шар

Рисунок 1.3 - StoTherm Classic

StoTherm Classic — це високоефективна система зовнішнього утеплення фасадів (ETICS) від компанії Sto, яка широко використовується для підвищення енергоефективності будівель. Вона включає в себе теплоізоляційний матеріал, армувальний шар, а також декоративне оздоблення, що забезпечує стійкість до атмосферних впливів і механічних пошкоджень.

StoTherm Classic має високий рівень стійкості до тріщин, ударів, атмосферних умов та інших факторів, що забезпечує довгий термін служби фасаду.

Система розроблена з матеріалів, які мають високу еластичність, що запобігає виникненню тріщин і деформацій на поверхні.

Завдяки використанню високоякісних ізоляційних матеріалів, StoTherm Classic значно знижує втрати тепла в холодну пору року і зменшує нагрівання приміщень влітку, що дозволяє зекономити на енерговитратах.

StoTherm Classic відповідає сучасним стандартам екологічності та безпеки, оскільки використовує матеріали з низьким вмістом шкідливих речовин.

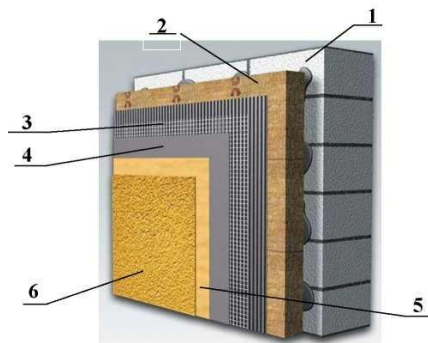
Система підтримує різноманітні оздоблювальні рішення, включаючи різні кольори, текстури та матеріали, що дозволяє реалізувати індивідуальний дизайн фасаду.

Зазвичай виконаний з пінополістиролу або мінеральної вати.

Складається з армувальної сітки та клею, що запобігає тріщинам і підвищує міцність конструкції.

Використовуються штукатурки та фарби, стійкі до ультрафіолетового випромінювання та забруднень, що забезпечує захист фасаду та декоративний вигляд.

StoTherm Classic є однією з найпопулярніших систем для зовнішнього утеплення завдяки поєднанню естетики, надійності та енергоефективності.



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

Рисунок 1.4 - Система «Kreisel TURBO-WSO та WSISI»

Система "СТОУН" пропонує ще один підхід до утеплення вентилязованих фасадів. В її основі лежить використання спеціальних утеплювачів із захисним шаром, які кріпляться до стіни механічними кріпленнями. Завдяки паропроникності цієї системи, волога легко виходить, не накопичуючись у конструкції.

Фасадні панелі встановлюються з зазором, який забезпечує природну вентиляцію. Це дозволяє підтримувати оптимальні умови для утеплювача та попереджає накопичення конденсату. Облицювальні матеріали можуть включати керамограніт, алюмінієві панелі та інші довговічні матеріали, що забезпечують естетичний вигляд і надійний захист стін.

Кожна з описаних систем має свої переваги та особливості, що робить їх придатними для різних типів будівель та умов експлуатації. Зовнішнє утеплення за допомогою вентильованих фасадів забезпечує ефективний захист від промерзання стін, сприяє вентиляції конструкції та зменшує ризик появи вологи всередині. При виборі системи утеплення важливо враховувати кліматичні умови, конструктивні особливості будівлі та матеріали, які будуть використовуватися для облицювання.

Говорячи за дешевий та прості фасадні системи, можна відмітити системи мокрих фасадів.

Стандартна схема для мокрих фасадів, це утеплення будинку роблять за допомогою штукатурних легких систем.

Це найпоширеніший спосіб виконання теплоізоляції стін фасадів. Основна перевага цього методу - застосування безпечних, екологічно чистих матеріалів. При цьому все буде коштувати відносно недорого.

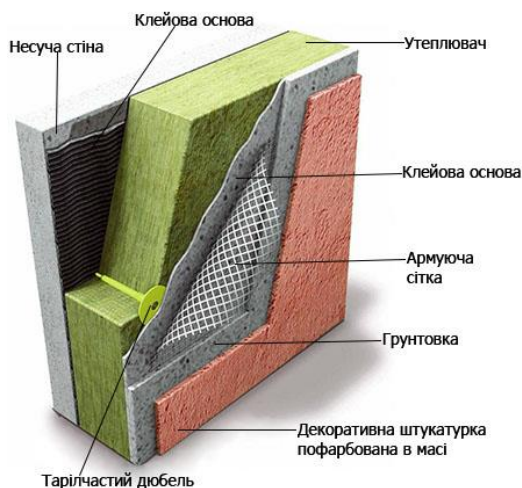


Рисунок 1.5 - Конструкція стандартного мокрого фасаду

Типове використання навісних фасадів спрямоване на зменшення енергоспоживання та зниження навантаження на опалювальну систему в країнах, більшість території яких знаходиться в зоні помірному клімату. Проте можливості такої зовнішньої обробки також використовуються в тропічних та субтропічних країнах, що дозволяє зменшити навантаження на системи кондиціонування повітря та забезпечити ефективну вентиляцію. Серед країн, що впроваджують сучасні технології у сфері зовнішнього оздоблення такого типу, можна відзначити ОАЕ, Індію, країни Перської затоки та Катар.



Рисунок 1.6 - Попит на влаштування навісних вентиляційних систем у країнах Азіатсько-Тихоокеанського регіону

У екстремально жаркому кліматі акцент при проектуванні навісного фасаду робиться на запобігання потраплянню сонячного світла в приміщення та підвищення енергоефективності будівель. Часто система затінення замінює зовнішній шар гібридної фасадної системи замість традиційних облицювальних плит.

Основні компоненти фасаду включають металевий каркас, заслінки, зовнішній ґратчастий або скляний екран, а також повітряний прошарок (буфер), який уповільнює теплопередачу між захисними конструкціями будівлі та зовнішнім повітрям.

Система заслінок змінює напрямок руху повітря та зменшує кількість забруднюючих речовин у приміщенні, що особливо корисно під час пікового трафіку або зміни погодних умов. Навісний фасад захищає елементи сонячного затінення від впливу погоди, що дозволяє проектувати жалюзі та системи затінення з гнучким механізмом. Це знижує вимоги до очищення і зносу механічних компонентів, що забезпечує довговічність фасаду.

З огляду на кліматичні умови країн, таких як ОАЕ та Катар, які характеризуються високою вологістю, для проектування облицювальних систем використовують методику "подвійного конверту". Вона передбачає заміну зовнішнього шару скління на решітчастий екран, в той час як внутрішнє скління зберігається за допомогою буфера, що зменшує теплообмін.

При розробці проектних рішень для навісних елементів застосовують дві основні методики: організацію витяжної фасадної системи та використання машрабії як зовнішнього облицювання.

Організація витяжної системи

При реалізації буферної витяжки зовнішній шар фасаду закривають, утворюючи широкий повітряний коридор. Цей простір використовується для "згладжування" температурних екстремумів і може бути частиною системи кондиціонування. Відкритий характер нового типу зовнішнього шару, який розташований на відстані 1,0 м - 1,5 м від несучої стіни, спрощує доступ для очищення конструкцій від піску.

Використання машрабії

Типові висотні офісні будівлі зводяться кластерно, затінюючи одна одну. У зв'язку з цим були розроблені унікальні подвійні фасади, які забезпечують затінення будівель без втрат тепла. Цей метод, у поєднанні з відносно великою площею скління верхнього шару, запобігає передачі тепла та сонячної енергії. Основою системи є традиційна машрабія — дерев'яний ґратчастий екран, що забезпечує циркуляцію повітря та перешкоджає проникненню сонячного світла. Такі системи в поєднанні з навісними стінками як внутрішнім шаром забезпечують високий захист від сонячних променів.

Шари розділені широким повітряним коридором, що забезпечує вільний доступ повітря для природного охолодження елементів конструкцій. Зовнішній шар затінення може бути як фіксованим, так і рухомим.

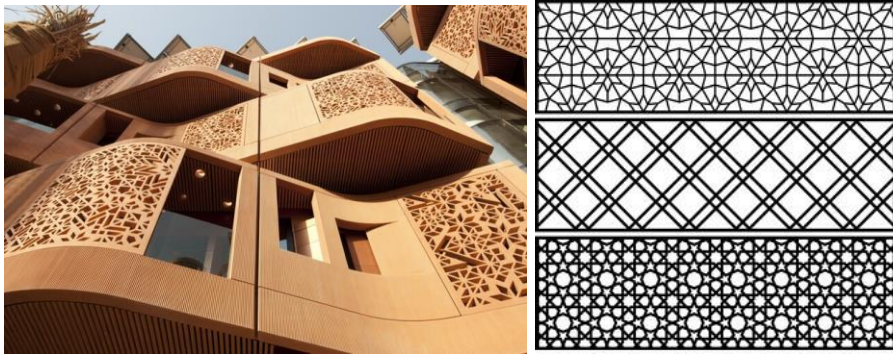


Рисунок 1.7 - Елемент машрабію

Приклади використання таких систем.

У фасаді цієї вежі використовується фіксований екран як зовнішній шар, що складається з чотирьох алюмінієвих елементів - «метеликів» різного розміру, які формують геометрично складний малюнок та забезпечують захист від сонця. Конструкція облицювання адаптується відповідно до орієнтації будівлі та потреб у сонячному захисті. При необхідності можна повністю закрити алюмінієвий екран, щоб заблокувати потрапляння сонячного світла до приміщення. Внутрішній шар представлений скляною поверхнею, що доповнює сонячний захист фасаду. Передбачається, що ця система зменшить навантаження на систему кондиціонування на 20%.



Рисунок 1.8 – Фасадні елементи Вежа Доха

Зовнішній шар фасаду являє собою програмовану систему з напівпрозорих парасольок, здатних відкриватися і закриватися відповідно до щоденної траєкторії сонця. Кожна з двох веж містить понад 1000 таких пристроїв для затінення. Кожен блок складається з розтягнутих ПТФЕ (політетра-фтор-етилен) панелей, які управляються лінійним приводом, відкриваючись і закриваючись за попередньо заданим графіком. Уся установка оснащена датчиками, які активують блоки у випадку хмарної погоди чи сильного вітру. Переваги цієї системи включають покращене проникнення природного світла, зменшення залежності від штучного освітлення та більш ніж 50% зниження коефіцієнта поглинання сонячної енергії.



Рисунок 1.9 - Башти Аль-Бахар в Абу-Дабі

Ця конструкція є варіацією витяжної системи навісного фасаду. Подвійна порожнина фасаду відкрита зверху вниз, що створює «дихаючий» ефект. Механічна підлога в нижній частині лікарні дозволяє прохолодному повітрю з приміщень проникати через «шарувату» конструкцію стіни, де воно нагрівається і піднімається вгору, видаляючись через дах. Ця вихлопна система формує захисний бар'єр між зовнішнім повітрям і внутрішньою частиною будівлі. Завдяки такій конструкції витрати на охолодження знижуються приблизно на 33% за рахунок зменшення навантаження на систему кондиціонування. Внутрішній шар системи складається з стандартної герметичної несучої стіни. Трубчасті сталеві решітки, які підтримують зовнішній шар скління, фіксуються рукоятками, з'єднаними з будівельною конструкцією.



Рисунок 1.10 - Клініка Клівленда (Абу-Дабі)

Отже, існує безліч різних варіантів утеплення фасадів, які відрізняються складністю монтажу, ціною та матеріалами утеплювачів. Проте, для досягнення максимального результату, рекомендується утеплити не лише стіни фасаду, а й дах, а також здійснити монтаж вікон і утеплити водопровідні труби.

Виробники, які спеціалізуються на теплоізоляційних матеріалах, постійно вдосконалюють свою продукцію та впроваджують новітні технології. Розробляються нові матеріали, які здатні не лише зменшити витрати тепла, а й знизити витрати на їх виробництво. Чим менше фізичних та фінансових витрат, тим комфортніше користуватися цими матеріалами, що, відповідно, підвищує їх популярність.

Вибір системи утеплення фасадів може бути досить складним завданням як для вже збудованих будівель, так і для новобудов. Для оптимального вибору ефективного методу потрібні значний досвід та спеціальні знання. Щоб визначити найбільш ефективні рішення, доцільно розглянути різні способи утеплення зовнішніх стін, включаючи новий і дискусійний варіант — утеплення стін теплоізоляційною фарбою, яка, за прогнозами, може замінити традиційні методи утеплення, такі як навісний вентильований фасад або "мокрий" фасад.

1.2 Базові системи монтажу елементів конструкцій фасадів та різновиди виконання різних систем

Навісний фасад являє собою систему, що складається з елементів, закріплених на зовнішніх стінах будівель і споруд, яка включає каркас, утеплювальний і водонепроникний шари та облицювання.

Методи монтажу навісних фасадів можуть відрізнятися в залежності від використовуваних конструкційних компонентів, але в основі кожного лежить загальноприйнята і перевірена методика. На початковому етапі проводиться підготовка фасаду до встановлення: поверхню ділять на зони для зручності роботи, розміщення кріпильних елементів і такелажного обладнання. Далі фасад очищають від старих покриттів (наприклад, штукатурки або фарби), а при наявності руйнувань у цегляній або кам'яній кладці виконують відновлювальні роботи. Також демонтують наявні на зовнішніх стінах вивіски, зливні труби, антени та інші кріплення.

Вважається, що батьківщиною сучасних навісних вентилязованих фасадних систем є Німеччина, хоча схожі системи фасадів також використовувалися в Скандинавії та Західній Європі. З 1950-х років у Німеччині проводилися наукові дослідження, розроблялися конструктивні елементи та технології монтажу вентилязованих фасадів. Наразі в Німеччині функціонує Асоціація матеріалів і комплектуючих для вентилязованих фасадів, а кожні два роки проводиться Німецька фасадна премія для таких систем. З середини 90-х років вентилявані фасадні системи почали активно впроваджуватися в українську будівельну практику.

Першими спорудами, на яких застосовувалися навісні вентилявані фасадні системи, були великі комори, сараї та стайні. Тому спочатку цей метод облицювання отримав назву «метод облицювання комор з відкритими швами». При цьому дерев'яне облицювання стіни виготовлялося з лісоматеріалів, що щільно прилягають один до одного, з закритими швами, проте вгорі та внизу

фасаду залишалися отвори для відведення води та випаровування зайвої вологи, якщо дощ або інші атмосферні опади потрапляли всередину.

Хоча цей метод облицювання успішно використовувався в будівництві протягом кількох століть, наукові дослідження принципів, які його обґрунтовують, почалися лише в 1940-х роках. Дуже швидко з'ясувалося, що принципи роботи вентиляованих фасадів, виготовлених за цією середньовічною технологією, перевищують усі інші відомі технології облицювання будівель на той час. Найцікавіше, що навіть сьогодні, незважаючи на всі досягнення науки і техніки, технологія облицювання будівель навісними вентиляованими фасадними системами залишається найбільш досконалою і бездоганною за всіма параметрами.

Попередні дослідження показали, що для стін, виготовлених з цегли або цементу, необхідно усувати тривалий вплив дощів та інших атмосферних опадів і захищати пористу структуру матеріалів від проникнення води. Незахищені цегляні або цементні стіни вбирають вологу, як промокальний папір, що призводить до їхнього передчасного руйнування та частих ремонтів.

Так виникла ідея створення зовнішнього захисного екрану на пористих цегляних або бетонних стінах. При цьому стало зрозуміло, що цей екран можна зробити не лише функціональним, але й естетично привабливим, що підкреслить красу будівлі. Справді, якщо початкова мета створення такого екрану суто практична (захист від дощу), то чому б йому не бути також і красивим?

Будівельні технології продовжували вдосконалюватися, і разом з ними розвивалася ідея фасаду як захисного екрану для несучих стін будівлі.

Монтаж навісних фасадів проводиться на стіни з керамічної цегли або бетонних блоків, які мають залізобетонний чи металевий каркас. Перед початком робіт здійснюється документальна приймання фасадів і складається акт. Необхідно перевірити товщину швів, вертикальність поверхонь, а також відсутність тріщин, сколів, пустот чи оголеної арматури. При виявленні таких дефектів монтаж навісного фасаду не можливий.



Рисунок 1.11 - Конструктивні елементи вентильованих систем утеплення фасадів

Після підготовки фасаду проводять розмітку точок для кріплення. Розмітка здійснюється за допомогою рівня, теодоліту і схилу. Встановлення кронштейнів і монтажних профілів може йти знизу вгору або згори вниз, а для точності розмітки використовуються контрольні маяки.

Роботи виконують при температурі від -15 до $+30$ °С. Працювати можуть декілька бригад, кожна з яких складається з 4-5 осіб. Процес монтажу навісного фасаду включає кілька етапів:

Монтаж кронштейнів: Кронштейни встановлюють згідно з розміткою за допомогою дюбелів, при цьому уникаючи місць швів у кладці. Для попередження утворення «містків холоду» використовують паронітові прокладки.

Укладання теплоізоляції. Теплоізоляційні плити кріпляться щільно з перев'язкою швів, щоб уникнути порожнин. Після укладання плит встановлюють вітрозахисну плівку з нахлестом у 100 мм.

Встановлення профілів. Профілі встановлюються у відповідності до проектних позначок з перевіркою антикорозійного захисту на місцях кріплення.

Монтаж фасонних елементів. До установки облицювальних плит проводиться монтаж відливів, укосів і протипожежних коробів у віконних і дверних отворах.

Облицювання фасаду. Завершальним етапом є облицювання. Для цього використовуються панелі з керамограніту, натурального каменю, фіброцементу, металу або композитів, що мають високі показники міцності і морозостійкості. Облицювальні плити монтуються знизу вгору з мінімальним зазором у 40 мм для вентиляції, а всі кріпильні елементи повинні бути антикорозійними.

Облицювальні роботи супроводжуються контролем якості і документальним підтвердженням виконаних робіт.



Рисунок 1.12 - Співвідношення трудовитрат за окремими видами робіт при монтажі зовнішньої огорожі, що утеплює.

Під час монтажу навісних фасадів необхідно забезпечити контроль якості виконання робіт, після чого оформлюються акти на приховані роботи. При прийманні особлива увага приділяється перевірці місць стиків, кутів, а також віконних і дверних прорізів. Усі виявлені дефекти повинні бути усунуті до введення об'єкта в експлуатацію. Монтаж фасадних конструкцій має виконуватися сертифікованою організацією.

Для оздоблення будівель використовують різні типи вентилязованих фасадів, виготовлених з матеріалів, що відрізняються характеристиками, формою, зовнішнім виглядом і ціною.

Керамограніт є штучним матеріалом, отриманим шляхом пресування спеціальної суміші та подальшого випалення. Цей матеріал славиться своєю довговічністю, міцністю і стійкістю до температурних коливань. Найчастіше керамограніт використовують як облицювання фасадів.

Навісний вентиляований фасад з керамограніта складається з конструкції, що примикає до зовнішньої сторони стіни будівлі. Ця конструкція представляє собою екран, який встановлюється на відстані від теплоізовованої стіни. Між екраном і стіною залишається зазор, що виконує вентиляційні функції, сприяючи видаленню надлишкової вологи зі стін та атмосфери будівлі.

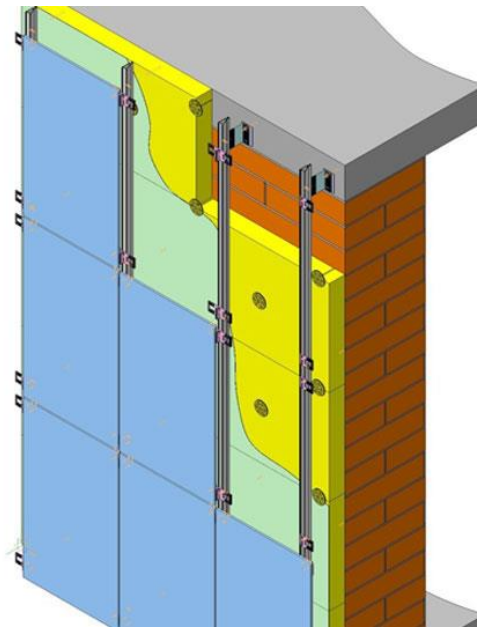


Рисунок 1.13 - Конструкція навісної вентиляованої системи з плитами керамограніту

Таким чином, у внутрішніх приміщеннях формується оптимальний мікроклімат з балансом вологості. Окрім виведення надлишків вологи, конструкція також ефективно виконує функції теплоізоляції. У цьому випадку утеплювач встановлюється так, щоб між теплоізоляцією та екраном залишався зазор.

Агломератна плитка, або штучний камінь, виготовляється з суміші кам'яної крихти різних розмірів та цементного розчину. Вона об'єднує всі переваги натурального каменю. Плити з цього матеріалу досить важкі, тому їх монтують на каркас із нержавіючої сталі. Плити зі штучного каменю абсолютно інертні до різних впливів, є вогнестійкими та довговічними.

Фіброцементні плити складаються з цементу, мінеральних наповнювачів та армуючих волокон. Це екологічний матеріал з відмінними шумо- і теплоізоляційними властивостями. Він є одним з найдешевших матеріалів для облицювання, не втрачаючи при цьому привабливості. Фіброцементна плита - це високоякісний продукт, виготовлений шляхом пресування цементу і мінеральних наповнювачів. Вона має гладку поверхню, хороші теплоізоляційні характеристики, не піддається морозу, волозі і стійка до механічних впливів і температурних коливань.



Рисунок 1.14 - Конструкція навісної вентилярованої системи з фіброцементними плитами

Фіброцемент є негорючим матеріалом, який не містить шкідливих для навколишнього середовища речовин. Використання фіброцементних плит у облицюванні вентилязованих фасадів дозволяє досягти не тільки естетично привабливого вигляду, а й отримати міцне і якісне покриття, що прослужить багато років.

Алюмінієві композитні панелі складаються з двох пофарбованих алюмінієвих листів, між якими закріплено лист з полімерного або мінерального матеріалу. Товщина цих панелей варіюється від 2 до 6 мм, і вони досить легко піддаються згинанню. Монтаж може здійснюватися з відкритим міжпанельним швом або ущільненим швом, а також з водозахисним екраном і відкритим швом. Різні модифікації композитних панелей мають різний рівень вогнестійкості.

Алюмінієвий вентильований фасад є сучасним рішенням для покращення зовнішнього вигляду будівель будь-якої форми та конструкції.



Рисунок 1.15 - Фасад будівлі з алюмінієвих композитних панелей

Однією з основних переваг фасадних систем, виготовлених з алюмінієвих композитних панелей, є їх тривалий термін служби. Алюміній не піддається негативному впливу навколишнього середовища і є дуже стійким до корозії, що дозволяє забути про обслуговування фасадів на термін понад 50 років. На відміну від композитних панелей, алюмінієвий лист є абсолютно негорючим матеріалом (з температурою плавлення 660 °C), що робить його придатним для використання в будівлях будь-якої висоти.

Алюмінієві фасадні панелі можуть бути виготовлені в будь-якій формі відповідно до геометрії будівлі або побажань замовника, а їх колір може бути обраний з широкої палітри, що дозволяє створити індивідуальний стиль. Крім

того, алюмінієвий вентиляований фасад має захисні властивості, відбиваючи електромагнітні хвилі значно ефективніше, ніж цегляна стіна товщиною в 1 метр, що позитивно впливає на здоров'я людей, які працюють або проживають у будівлі.

Зручність використання алюмінієвого листа полягає в тому, що його не потрібно обробляти фрезеруванням. Алюміній має високу пластичність, легко піддається згинанню, не потребує з'єднання кутів і має невелику вагу, що зменшує навантаження на фундамент і несучі конструкції. Алюмінієві композитні панелі легко монтуються, що дозволяє заощадити час. Цей фасад також просто обслуговувати в процесі експлуатації: для видалення пилу та слідів від атмосферних впливів достатньо звичайної води.

1.3 Сучасний стан матеріалів які використовуються в системах енергозбереження будівель

Сучасний ринок пропонує широкий асортимент матеріалів для утеплення будинків. У вітчизняній практиці найпопулярнішими є рулонні, плиткові та напилювані теплоізоляційні матеріали. В усіх цих варіантах їх можна умовно поділити на чотири основні типи утеплювачів:

- пінопласт;
- екструдований пінополістирол;
- мінеральна (кам'яна, базальтова) вата та вироби з неї;
- пінополіуретан.

Усі ці матеріали відносно доступні за ціною, і кожен з них має свої переваги, що дозволяє якісно утеплити фасад будинку та досягти бажаного ефекту. Однак між ними існують певні відмінності.

Матеріали для утеплення фасадів можна об'єднати в кілька груп: утеплювачі на основі скло- та мінераловатних волокон. Найбільш відомими

серед них є «Ізовер», «Урса», «Роквулл», «Ізофен». Ці матеріали постачаються у вигляді рулонів або плит завтовшки 50-160 мм.

Існують також утеплювачі на основі спінених і екструдованих полістиролів. Найбільш популярні серед них імпорتنі «Стіропор», «Стіродур», «Полан», а також вітчизняні пінополістирольні плити. Вони виготовляються у формі плит або шкаралуп (сегментів) різних розмірів з товщиною 20-160 мм.

Утеплювачі на основі пінополіуретанів включають найпоширеніші вітчизняні «Ріпор» та імпорتنий «Бластопор». Ці матеріали доступні у вигляді плит завтовшки 20-100 мм з різними розмірами, а також у формі напівциліндрів (сегментів) та інших формованих виробів.

Крім того, теплоізоляційні матеріали з пінополіуретану часто виготовляють і встановлюють безпосередньо на будівельному майданчику за допомогою наплення або заливки рідких компонентів, які протягом декількох секунд полімеризуються (спінюються) і перетворюються на жорсткі теплоізоляційні матеріали. Види, сфери застосування матеріалів та їх характеристики наведені в таблиці.

Таблиця 1.1 - Характеристики ефективних теплоізоляційних матеріалів

№	Матеріал	Вид постачання	Коеф. теплопровідності	Область застосування
1	2	3	4	5
1	Мінеральне волокно, скловата	Плити, мати, рулони	0,3-0,45	Дахи з крутими схилами, стіни
2	Мінеральне волокно, шлаковата	Плити, мати, рулони	0,3-0,45	Дахи, стіни, перекриття, підлоги, фасади
3	Поліефір	Плити	0,04	Дахи ^
4	Полістирол	Плити	0,03-0,04	Дахи, стіни, перекриття, підлоги
5	Поліуретан (ППУ)	Плити, заливка, наплення	0,02	Плоскі і круті дахи, стіни, перекриття, підлоги, фасади
6	Піноскло	Плити, фасонні елементи	0,04-0,0055	Стіни підвалів, підлоги, плоскі дахи
7	Деревоволокно	Плити	0,04-0,045	Підлоги, дахи, перекриття, СТІНИ і
8	Перлит	Засипка	0,05	Перекриття, підлоги, дахи плоскі

Пінопласт (пінополістирол) є найдоступнішим матеріалом для утеплення фасадів. Стандартний лист має розміри 100x100 см і різну товщину

(3, 5, 10, 15 см), причому найбільш поширені товщини — 5 та 10 см. Теплопровідні характеристики пінопласту залежать не лише від товщини, але й від його середньої густини. Він буває з густиною 15 кг/м³ (позначається як ПСБ-15), 25 кг/м³ (ПСБ-25) та 35 кг/м³ (ПСБ-35), причому це найпопулярніші його варіанти.

Кожен тип пінопласту має свою теплопровідність: ПСБ-15 — 0,043 Вт/(м·К), ПСБ-25 — 0,041 Вт/(м·К), а ПСБ-35 — 0,039 Вт/(м·К). Хоча відмінності в значеннях незначні, вони суттєво впливають на ціну. Для зниження витрат на утеплення фасаду пінопластом можна використовувати ПСБ-15, оскільки навантаження на матеріал невелике, а висока пористість тут не є критичною. Якщо ж говорити про оптимальний баланс ціна/якість, ПСБ-25 є відмінним вибором для утеплення фасаду.

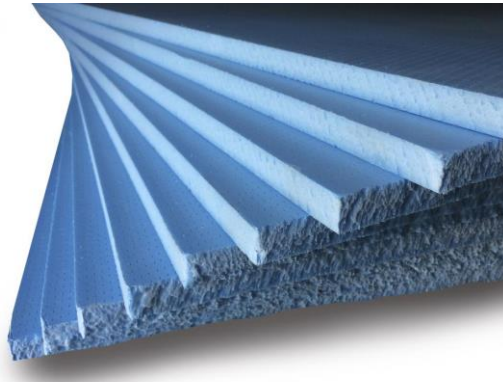


Рисунок 1.16 – Екструдований пінополістирол

Ще однією перевагою пінопласту є його вологостійкість. Він не руйнується при контакті з водяною парою та вологістю, зберігаючи свої термоізоляційні властивості. Проте, у пінопласту є й недоліки: він механічно ненадійний і легко кришиться. Найбільшою проблемою є його горючість: він відноситься до класу Г4 (дуже горючий) і під час горіння виділяє їдкий чорний дим і токсичні речовини. Хоча існують варіанти пінопласту з антипіренами (клас Е1, малогорючий), їхня вартість значно вища.

Екструдований пінополістирол (ЕПС) має значно кращі показники теплопровідності — $0,029-0,032 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{C})$. Завдяки замковим з'єднанням плит ЕПС при утепленні фасадів відсутні шви, що виключає появу містків холоду. Крім того, ЕПС значно міцніший за пінопласт: він не розсипається, а ймовірність відламування кута або краю є мінімальною.

Стандартні розміри плит екструдованого полістиролу складають 120×60 см (площа — $0,72 \text{ м}^2$), а товщина варіюється від 1 до 10 см. Матеріал інертний до хімічних сполук, за винятком розчинників і кислот. Водостійкість ЕПС забезпечується завдяки структурі з закритими порами, що робить його паронепроникним та довговічним. У порівнянні з простим пінопластом, ЕПС є вдосконаленою версією цього матеріалу.

Проте вартість цього матеріалу значно вища, ніж у пінопласту. Наприклад, плита екструдованого полістиролу розміром $120\times 60\times 5$ см коштує майже в чотири рази дорожче, ніж плита пінопласту приблизно такого ж розміру. Що стосується горючості, матеріали мають класи Г4 і Г3, що означає підтримку горіння і виділення їдкого диму. Дорожчі варіанти з антипіренами більш схильні до самозагасання.

Утеплення фасадів полістиролом — це відмінний, хоча й недешевий, варіант. Важливо врахувати, що при використанні ЕПС стіни стають паронепроникними, що може призвести до підвищення вологості в будинку, тому наявність надійної вентиляційної системи стає необхідною.

Мінеральна вата (також відома як базальтова або кам'яна вата) виготовляється з розплавлених гірських порід, завдяки чому вона вважається екологічно чистим утеплювачем. Цей матеріал є пожежобезпечним і має клас НГ (негорючий). За показниками термоізоляції він поступається ЕПС і становить $0,04 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{C})$.

Для утеплення стін використовуються плити мінеральної вати (рис. 1.10), розміри яких залежать від виробника. Більшість компаній виробляє стандартні плити розміром 100×60 см з різними товщинами (5, 7,5, 10 см). Окрім теплоізоляційних властивостей, мінеральна вата також має хороші

звукоізоляційні характеристики, тому її часто використовують для звукоізоляції. Для фасадних систем потрібна висока щільність утеплювача — приблизно 145 кг/м³.

Матеріал є паронепроникним, що зменшує потребу у особливій увазі до вентиляції будинку. Ще одна перевага — в мінваті не заводяться гризуни. Наприклад, ціна плити розміром 120х60 см (площа — 0,72 м²) з товщиною 10 см становить близько 58-66 грн (345-400 грн за упаковку). Плити продаються упаковками, кількість плит у яких залежить від товщини.

До недоліків мінвати слід віднести недостатню вологостійкість. При потраплянні води в структуру матеріалу його термоізоляційні властивості значно знижуються. Утеплення фасаду мінватою є дорожчим у порівнянні з утепленням пінопластом, проте цей матеріал є універсальним і підходить як для будинків, які не витримують надлишку води (каркасних, дерев'яних, саманних/глиняних), так і для «класичних» будівель (цегляних, бетонних, черепашникових, кам'яних).



Рисунок 1.17 – Утеплювач з мінеральної вати (рулонований)

У національній та міжнародній практиці в галузі теплоізоляції все частіше використовуються матеріали на основі полімерних композицій. Одним із найбільш популярних матеріалів цієї категорії є напилюваний і заливний

пінополіуретан (ППУ). Цей матеріал використовується для утеплення різних конструкцій житлових, цивільних і промислових будівель, таких як цехи, ангари, склади тощо.

Пінополіуретан є полімерним матеріалом, що складається з двох компонентів: «А» (полієфір) і «Б» (поліізоціонат). Після змішування компонентів і їх викиду на утеплювану поверхню за допомогою розпилювального пістолета відбувається хімічна реакція спінювання, в результаті якої формується пінополіуретан. Цей матеріал має об'ємну масу в межах 30-40 кг/м³, коефіцієнт теплопровідності 0,02 Вт/м·°С, є нетоксичним, важкогорючим і має хорошу адгезію до практично всіх будівельних матеріалів.

Перед нанесенням утеплювача поверхню будівлі очищають від пилу, бруду та маслянистих плям. Процес виконання теплоізоляції з ППУ здійснюється шарами з верхньої частини вниз. Напилення ППУ виконується за допомогою піногенератора та компресора.

Піногенератор складається з двох ємностей для компонентів і насоса. Компоненти А та Б подаються через насоси в точно визначених об'ємах по шлангу до розпилювального пістолета, продуктивність якого становить 4-6 м³/хв. Компоненти змішуються в пістолеті-розпилювачі та виштовхуються струменем повітря на утеплювану поверхню, при цьому пістолет-розпилювач розміщується на відстані 600-1500 мм від оброблюваної поверхні.

РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЇ ЕФЕКТИВНОГО УТЕПЛЕННЯ МАТЕРІАЛАМИ ПІДВИЩЕННОГО ТЕПЛОВОГО СУПРОТИВУ

2.1 Дослідження та оцінка конструктивного пристрою, технологій монтажу та вузлів кріплення навісних фасадів систем утеплення

Монтаж систем вентильованих фасадів проводиться після розмітки стін будівлі. У необхідних місцях встановлюються кронштейни. Під час установки навісних вентильованих фасадів кронштейни фіксуються за допомогою паронітового терморозривного елемента до стіни, використовуючи анкери. Положення кронштейнів закріплюється алюмінієвою шайбою, що підвищує міцність вузла в цілому. Після завершення цих етапів рекомендується покрити головки анкерів фарбою, яка слугує додатковим захистом і запобігає корозії.

Дотримуючись технології установки вентильованих фасадів, утеплювач кріпиться на фасаді будівлі за допомогою спеціально призначених пластикових анкерів, сердечник яких виготовлений з поліаміду або сталі. Згідно з інструкцією, у стіні просверлюють отвори, куди встановлюються анкери, капелюшки яких надійно притискають плити до фасаду.

Установка напрямних на фасад виконується відповідно до проекту. Кріплення до кронштейнів здійснюється заклепками.

Перед установкою фасадної касети верхні напрямні спочатку виставляються в проектне положення та закріплюються монтажними гвинтами. Нижній рівень кріпиться вище проектного положення так, щоб було можливим навісити фасадну касету на верхні напрямні. Процес навішування фасадних касет триває таким чином, що нижній рівень заводиться в проріз утримувача до фіксуючого положення, після чого касети закріплюються контргвинтами. При цьому гумовий ущільнювач, який вставлений в направляючу, повинен щільно прилягати до фасаду.

Щоб встановити плити керамограніта, спочатку необхідно закріпити кінцеві кляммери. Вони фіксуються до профілю, в якому розміщуються гумові

ущільнювачі. Керамогранітна плита прикріплюється до кінцевого кляммеру, після чого вона монтується верхніми поворотними кляммерами через пази напрямної. Далі до верхніх кляммерів прикріплюються дистанційні кляммери. Після цього проводиться монтаж нижніх поворотних кляммерів другого ряду керамограніта по горизонталі. У пази профілю вставляються гумові ущільнювачі. Верхній край плити останнього горизонтального ряду фіксується кінцевими кляммерами.

Для монтажу опоряджувальних касет нижня частина верхньої касети вставляється в замок з нижньою розташованою касетою, а верхня частина кріпиться самонарізними гвинтами до направляючих каркасу. З часом мінераловатний утеплювач може "сповзати" по стіні. Збірні кронштейни використовуються для регулювання відстані та забезпечення направляючих в одній площині. На кронштейн встановлюються притискачі для фіксації плит утеплювача після їхнього навішування.

Переваги навісних фасадних вентиляованих систем можна визначити наступні пункти.

1. Навісні вентиляовані фасади є сучасною ресурсозберігаючою технологією, що підтверджує свою ефективність. Споживання енергоресурсів у будівлях з такою системою може знижуватися до 30%. Дослідження показують, що будівля з НВФ охолоджується або нагрівається у 6 разів повільніше, ніж звичайна цегляна.

2. На відміну від штукатурних фасадів, які руйнуються через 3-5 років, термін служби вентиляованого фасаду становить 30-50 років, залежно від облицювального матеріалу. Догляд за вентфасадом зводиться до простого вологого прибирання, як зі склом.

3. Хоча штукатурка є дешевшою, її експлуатація обходиться дорожче через необхідність регулярного фарбування та очищення фасаду. Окрім цього, фасад окупиться завдяки зниженню витрат на енергоресурси (опалення, кондиціонування тощо).

4. На відміну від штукатурних робіт, монтаж вентилязованих фасадів не залежить від погодних умов.

5. Всі елементи вентилязованої фасадної системи є універсальними, що дозволяє легко вирішувати складні архітектурні завдання та створювати різноманітні поверхні — від геометричних до плавних і вигнутих.

6. Матеріали, що використовуються для вентилязованого фасаду, належать до категорії негорючих або малогорючих.

7. Навісні фасади також забезпечують звукоізоляційні властивості, що особливо важливо для будинків, розташованих поруч з шумними вулицями або автострадами.

8. Навісні вентилявані системи дозволяють використовувати темні відтінки, оскільки вентиляція запобігає перегріванню. Крім того, на відміну від штукатурки, матеріали для вентилязованих систем не вигоряють на сонці.

9. Система навісних вентилязованих фасадів не містить шкідливих для людини та навколишнього середовища речовин.

10. Конструкція проста не лише в монтажі, а й у демонтажі. У разі реконструкції частина фасаду може бути демонтована, причому облицювальні матеріали можуть бути повторно використані.

До недоліків системи можна включити наступні пункти:

1. Кількість кронштейнів кріплення суттєво впливає на коефіцієнт теплотехнічної однорідності. Зі збільшенням кількості кронштейнів від одного до чотирьох цей коефіцієнт знижується. На практиці кількість кронштейнів не буде менше двох, зазвичай їх більше трьох, що знижує значення коефіцієнта теплотехнічної однорідності.

2. Усадка та деформація утеплювача.

3. Через щілини фасадного облицювання волога може проникати в систему, що призводить до розпушування утеплювача та зменшення повітряного зазору, що погіршує вентиляцію.

4. Частина волокон мінераловатних плит може ламатися і перетворюватися на пил, що є небезпечним.

5. Вартість реалізації вентфасадів у три рази перевищує вартість традиційних методів.

6. Вимагається точність у дотриманні технології установки та розмірів, а також складні розрахунки товщини утеплювача і повітряного зазору між вентиляльованим фасадом і стіною.

У підсумку, хоча система вентиляльованих фасадів має ряд недоліків, вона не є найефективнішою в кліматичних умовах України і не є оптимальним вибором для масового будівництва якісного бюджетного житла. Ця система явно поступається популярним системам «мокрих» фасадів.

Згідно з архітектурними вимогами до навісних фасадів, розробляються спеціальні вузли для кріплення елементів фасадних конструкцій, які представлені в технічних альбомах. Для конструкцій, що не відповідають типовим, виконуються індивідуальні проєкти для кожної системи. Ця інформація дозволяє врахувати всі особливості при проєктуванні та монтажі.

Основні види кріплень у фасадних системах включають:

- закріплення кронштейна до несучої основи;
- підвішування напрямних профілів;
- монтаж укосів для вікон та дверей;
- обрамлення внутрішніх та зовнішніх кутів будівлі;
- приєднання цоколя та парапету до стін;
- встановлення протипожежних перешкод.

При розгляді різних методів кріплення елементів системи враховувалися конструктивні особливості різних типів навісних фасадів.

Кронштейн є складовою підлицювальної конструкції, до якої пізніше навішуються вертикальні та горизонтальні профілі каркаса. Він прикріплюється до несучої стіни за допомогою анкерних болтів, між якими розміщуються паронітові прокладки, що запобігає утворенню щілин у конструкції та виникненню «містків холоду». Конкретне виконання вузла кріплення залежить від типу використовуваного кронштейна в системі.

Існують два типи підпирних елементів: несучі та опорні кронштейни. Несучий кронштейн сприймає навантаження від власної ваги та вітрового тиску протягом усього терміну експлуатації об'єкта, тоді як опорний - лише вплив атмосферних явищ. Це дозволяє напрямному профілю в місці з'єднання з опорними елементами переміщуватися, компенсуючи температурні зміни матеріалу. Альтернативним способом підтримання стійкості системи під впливом температурних факторів є розподіл руйнівних зусиль між кронштейнами та ділянками каркасу - така конструкція характерна для навісних фасадних елементів типу «Краспан».

Кріплення можуть складатися з двох або більше елементів - рухомих чи складових. Вони дозволяють компенсувати нерівності фасадної поверхні та можуть змінювати свою довжину за потреби.

Особливістю кріплення є також кількість болтових з'єднань, необхідних для надійного закріплення фасаду; вона визначається на основі розрахунків міцності і перевіряється тестами на вирив. Матеріали для виготовлення кріпильних елементів та металокаркасу системи є корозійностійкою сталлю.

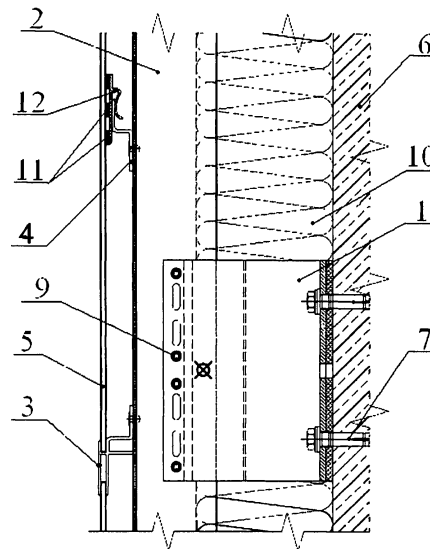


Рисунок 2.1 - Монтаж кронштейна в товщі несучої огорожі

Кронштейни 1 кріпляться на стіні 6 будівлі за допомогою анкерних елементів 7. Вертикальні напрямні 2 виконуються у вигляді Т- або Г-подібних елементів.

профілів з алюмінієвого сплаву і кріпляться на кронштейнах 1 безпосередньо або за допомогою пультів 8. Кронштейни 1 дозволяють забезпечити два види кріплення - нерухоме і плаваюче, що дозволяє сприймати як вертикальні вагові навантаження, так і горизонтальні вітрові навантаження. При стаціонарному кріпленні напрямні 2 або консолі 8 жорстко кріпляться до кронштейна 1 за допомогою нержавіючих гвинтів 9 або заклепок через круглі отвори в кронштейні. При плаваючому типі кріплення саморізами 9 або заклепками кріплять вертикальні напрямні 2 або консолі 8 до кронштейнів 1 через подовжені отвори. В результаті цього теплового розширення вони не створюють додаткового тиску в системі (за рахунок теплового розширення довжина профілів зазвичай не перевищує висоти підлоги). Кожна вертикальна рейка 2 кріпиться до кронштейнів 1 в одній фіксованій точці і в інших плаваючих точках.

Точки кріплення вертикальних напрямних 2 до кронштейнів 1 і кронштейнів 1 до стіни 6 будівлі розраховані на вплив моменту від ексцентричної дії власної ваги каркаса і облицювання і поперечних сил вітру. Анкерні елементи 7 також перевіряють на силу розриву від вітрового підсосу.

Конструктивне рішення консолі 8, і кріплення до неї несучої рами дозволяє при необхідності регулювати виліт зовнішньої площини фасаду, випрямляючи виліт стіни. До комплекту опорних елементів каркаса можуть входити також вертикальні напрямні кутового перерізу (на кресленнях не показані), встановлені в кутах і біля отворів фасаду.

Фасад утеплено плитами мінеральної вати 10 типу RockWool VentiBatts, які кріпляться безпосередньо до стіни будівлі тарілчастими дюбелями (не вказано позицією).

Кліпси 12 приклеєні до пластин 5 тильною стороною в центральній частині за допомогою спеціального клею 11. Розмір, розташування та кількість кліпс 12 змінюється в залежності від вітрового навантаження на конкретний об'єкт. Краї пластин 5 закріплені на горизонтальних планках 3 і додатково закріплені кліпсами 12 на горизонтальних Z-подібних профілях 4.

Установка панелей облицювання 5 на горизонтальні смуги 3 дозволяє зменшити навантаження на відповідні кріпильні елементи, при цьому Z-подібні профілі 4 забезпечують підвищену стійкість до вітрових навантажень, а кліпси 12 дозволяють зміцнити панелі обшивки і зберегти зовнішній вигляд фасаду. Таким чином, запропонована система навісної стіни дозволяє адаптувати тонкостінні великогабаритні керамограніти до різних вітрових навантажень, надаючи їм додаткову жорсткість за допомогою Z-подібних профілів 4. Запропонована система, завдяки унікальній фізико-хімічній стійкості керамічний граніт до забруднень, має властивість самоочищатися під впливом атмосферних опадів.

Металокаркас кріплять до кронштейнів за допомогою заклепок, що забезпечують надійну фіксацію профілів і утворюють єдину конструкцію. При цьому слід враховувати можливість вертикального зміщення напрямних через температурні деформації. З цієї причини отвори в опорній конструкції для встановлення профілів мають довгасту форму, яка є оптимальним варіантом.

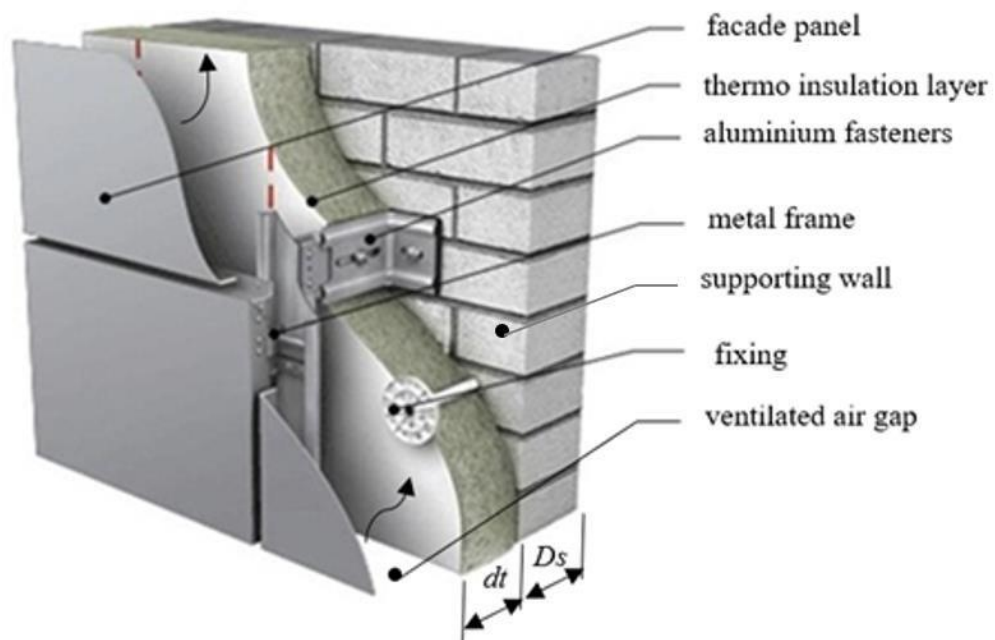


Рисунок 2.2 - Встановлення профілю металокаркасу (вид збоку)

Укіс є елементом обрамлення віконних і дверних прорізів будівлі. Щільне прилягання укісних деталей до зовнішніх стін допомагає запобігти "втраті

тепла" в приміщеннях. Залежно від розташування розрізняють верхні, бокові та нижні укоси (сливи), які перешкоджають проникненню опадів у конструкції в місцях примикання до прорізів.

Верхній укіс також виконує протипожежну функцію. У пустотах, що виникають на стиках укосу та зовнішньої стіни, встановлюють протипожежні коробки для запобігання поширенню відкритого вогню всередину приміщення. Експлуатація будівлі без таких коробів заборонена.

Короби виготовляють із профільованих сталевих листів товщиною 0,55 мм, з'єднаних між собою сталевими елементами. Вони кріпляться до основи огорожі з інтервалом 400 мм по верхніх укосах і до 600 мм — по бокових. Внутрішню порожнину між листами заповнюють мінеральною ватою.

Короби бувають відкритого або прихованого типу. У відкритому варіанті їхні бортики виходять за облицювання фасаду, захищаючи його від проникнення вогню. При прихованому монтажі бортики відсутні, і ззовні додається облицювальний елемент. Відкритий спосіб вважається більш надійним, а ширші виступи протипожежного елемента знижують ризик загоряння фасадної конструкції.

Над верхньою частиною отвору встановлюється протипожежна пластина з антикорозійного матеріалу, що з'єднує сусідні вертикальні напрямні металокаркасу. Її розміри: ширина не менше 150 мм, товщина — від 0,5 мм, а довжина перевищує ширину укосу на 0,6 м (по 0,3 м з кожного боку) для кріплення до каркасу.

Під час встановлення сливів і укосів важливо забезпечити постійну циркуляцію повітря в огорожувальній конструкції, щоб уникнути конденсату на утеплювальному шарі.

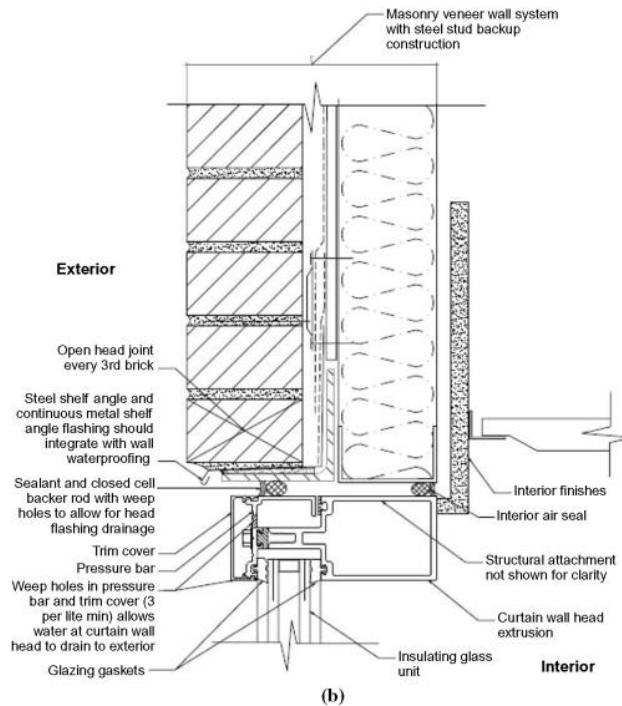


Рисунок 2.3 - Вузол примикання навісного фасаду до віконного отвору

Для оформлення внутрішніх і зовнішніх кутів будівель, щоб забезпечити їх правильну геометрію, використовують додаткові напрямні та спеціальні кутові стійки, які сприяють щільному приляганню сусідніх облицювальних панелей одна до одної. Під час монтажу кутових елементів необхідно залишати зазор для компенсації температурних розширень, ширина якого зазвичай становить близько 10 мм. Для забезпечення співвісності сусідніх елементів конструкції можуть використовуватися сталеві накладки, передбачені проектом.

Якщо облицювання виконано з алюмінієвих касетних панелей, для підвищення пожежної безпеки в внутрішніх кутах будівлі додатково встановлюють протипожежні пластини.

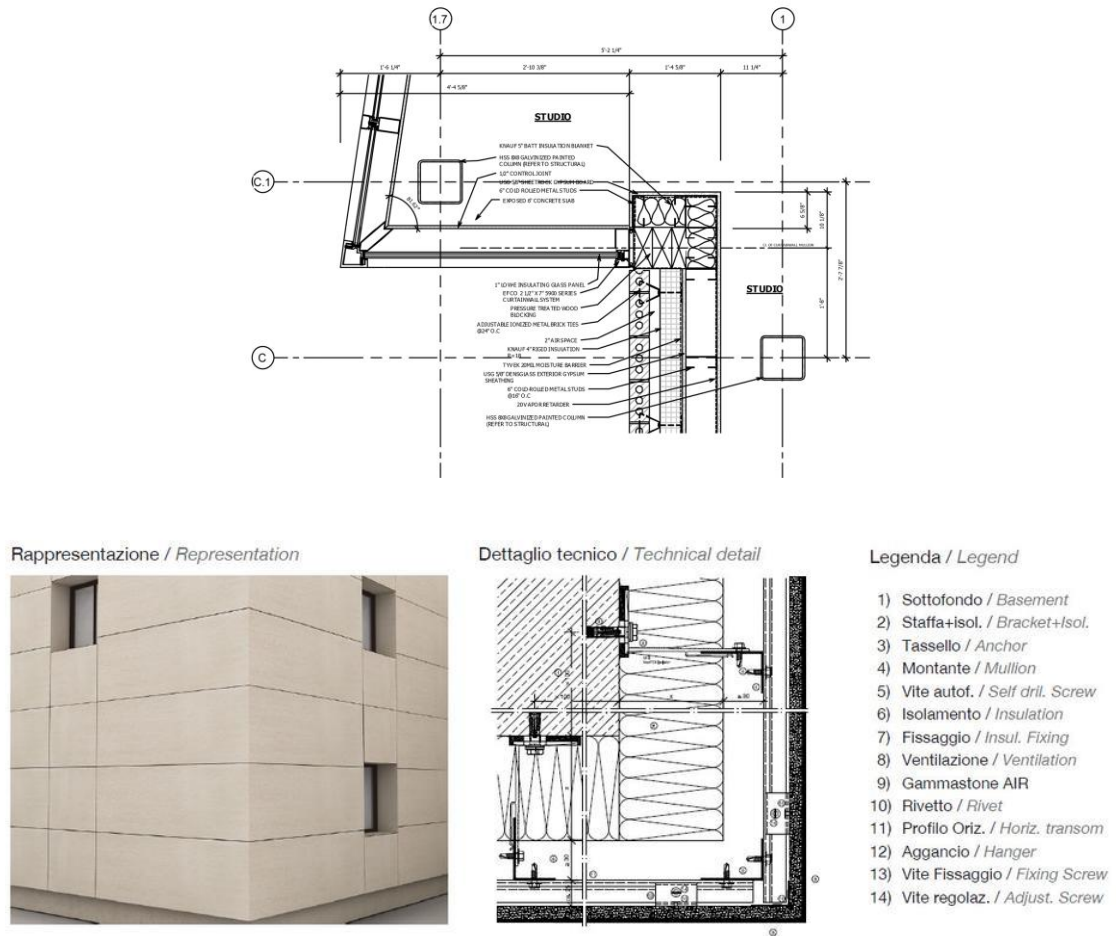


Рисунок 2.4 - Влаштування кутів будівель

Парапет - верхня частина зовнішньої стіни, що сусідить з мауерлатом покрівлі, цоколь - нижня частина стіни будівлі, що межує 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 виходячи з поелементного складу стін.

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

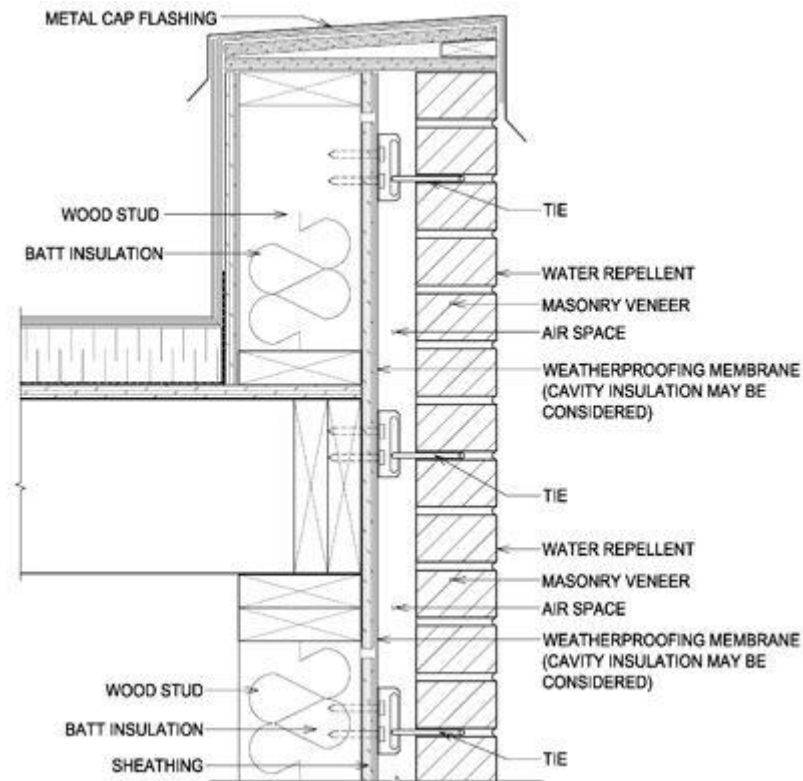


Рисунок 2.5 - Встановлення примикань до парапету

Пожежна відсічка — це перфорована металева пластина з оцинкованої сталі, яка встановлюється по периметру повітряного зазору вентиляованого фасаду та перешкоджає поширенню вогню всередині нього. Відсікаючі елементи розташовуються з певним кроком по висоті та кріпляться тільки до несучих конструкцій за допомогою заклепок. Довжина відсічки може відповідати ширині конструкції або дорівнювати відстані від огорожувальної конструкції до металокаркасу. Діаметр і кількість перфораційних отворів визначаються розрахунками для забезпечення необхідного повітрообміну в системі зовнішнього утеплення.

Крім того, протипожежні елементи можуть бути виконані у вигляді двох пластин, закріплених на зовнішній стіні будівлі з перекриттям і відстанню 10 мм між ними. Через агресивні умови експлуатації до матеріалів протипожежних вузлів висуваються підвищені вимоги, зокрема, кріпильні елементи повинні мати вогнестійкість не меншу, ніж сам матеріал відсічки.

Шурупи найбільш поширений і доступний спосіб кріплення утепленої огорожувальної конструкції. Незалежно від матеріалу металокаркасу (чи це оцинкована сталь, чи алюміній), для такого кріплення використовується нержавіюча сталь. Це важливо при встановленні фасаду, оскільки підвищені вимоги до надійності системи не допускають використання оцинкованих деталей, що можуть призвести до корозійного руйнування конструкції.

Монтаж проводиться за температури не нижче 20°C, що зумовлено умовами роботи на відкритому повітрі. Недоліком застосування шурупів є ризик ослаблення затяжки або їх викручування з металокаркасу через вібрації, які поширені в міському середовищі. Витрата металовиробів складає в середньому вісім штук на гілку металокаркасу та чотири-п'ять на квадратний метр площі.

Заклепка — це кріпильний елемент, який використовують при встановленні систем навісного вентилязованого фасаду. Вона має підвищену міцність і надійність у порівнянні з саморізом та складається з двох частин: гільзи (тіла заклепки) і втулки (сердечника) з нержавіючої сталі.

Існує два основних види заклепок:

- із стандартним виступаючим бортиком;
- із збільшеним бортиком.

Заклепки з розширеним бортиком застосовують у важких системах, облицьованих фіброцементними або азбестоцементними плитами. Ширина борта у таких виробках становить приблизно 14 мм, тоді як для металокаркасів часто використовують алюмінієві або нержавіючі заклепки з бортиком 12 мм.

Установка заклепок відбувається так: заклепка встановлюється між з'єднуваними деталями, після чого спеціальним інструментом (заклепочником) сердечник витягується через гільзу й обламується, забезпечуючи надійне з'єднання з тривалим терміном служби.

Заклепки класифікують за матеріалом:

- алюміній – нержавіюча сталь;
- нержавіюча сталь – нержавіюча сталь.

Для каркасів з оцинкованої сталі та клямерів для облицювальних плит застосовують кріплення з нержавіючої сталі. Комбінація алюмінію і нержавіючої сталі використовується для алюмінієвих каркасів. Підбір матеріалів для якісного та довговічного монтажу рекомендується здійснювати за альбомами технічних рішень.

Фасадний дюбель відрізняється від стандартного як конструкцією, так і розмірами. Зазвичай, його товщина становить від 12 до 14 мм, і він має бути міцним та стійким до деформацій. Для виготовлення дюбелів використовують нержавіючу сталь або метали з антикорозійним покриттям, враховуючи складні умови експлуатації. Діаметр кріплення — від 10 до 12 мм, довжина варіюється від 60 до 160 мм залежно від товщини і матеріалу зовнішньої стіни.

При виборі анкерних дюбелів слід дотримуватися правила: зі збільшенням навантаження має збільшуватися і діаметр шурупа в дюбелі. Крім того, кріпильні елементи повинні пройти випробування на розрив прямо на будівельному майданчику, за умов, що максимально наближені до реальних. Також важливо враховувати матеріал стіни, тип і товщину утеплювача, висоту будівлі та кліматичні умови експлуатації.



Рисунок 2.6 - Схема анкерного дюбеля

Кронштейни закріплюються до несучої стіни за допомогою анкерів двох типів: хімічних та розпирних.

Хімічний анкер відрізняється високою стійкістю до корозії та надійною адгезією з клеєвою сумішшю, що виступає як кріпильний елемент. Після свердління отворів у них вводять двокомпонентний клей, в який встановлюються анкерні шпильки. Після застигання клею утворюється міцне з'єднання, стійке до виривання, що додатково забезпечує монолітність стіни в місці кріплення.

Розпирний анкер — це болт, який вставляється в гільзу з нержавіючої сталі, має різьблення на кінці і розпирну секцію посередині. При закручуванні болта ця секція розширюється, міцно фіксуючи анкер у стіні. При необхідності демонтажу розпирна частина звужується, повертаючи анкер до первісного вигляду. Цей тип кріплення підходить для огорожувальних конструкцій з пінобетону.

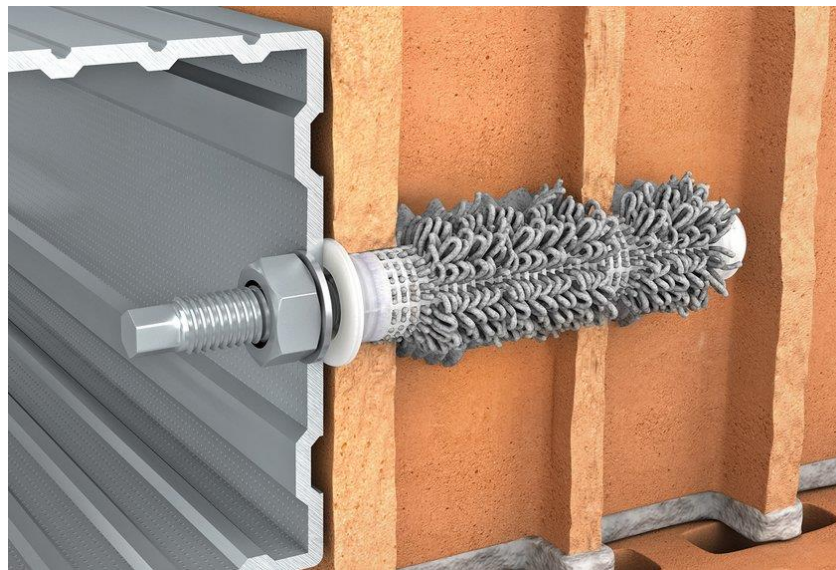


Рисунок 2.7 – Закріплення хімічного анкера

Для встановлення шару утеплювача в металокаркасній конструкції використовуються дюбелі з тарілчастою головкою (парасольки). Гільза таких кріплень виготовляється з поліаміду, а розпирний елемент — з вуглецевої сталі з антикорозійним покриттям.

Ці елементи повинні бути стійкими до впливу агресивного середовища, включно з перепадами температур від -40 до $+80$ °C, а також до механічних

навантажень. Монтаж таких кріплень проводиться аналогічно до встановлення дюбелів для металокаркасу.

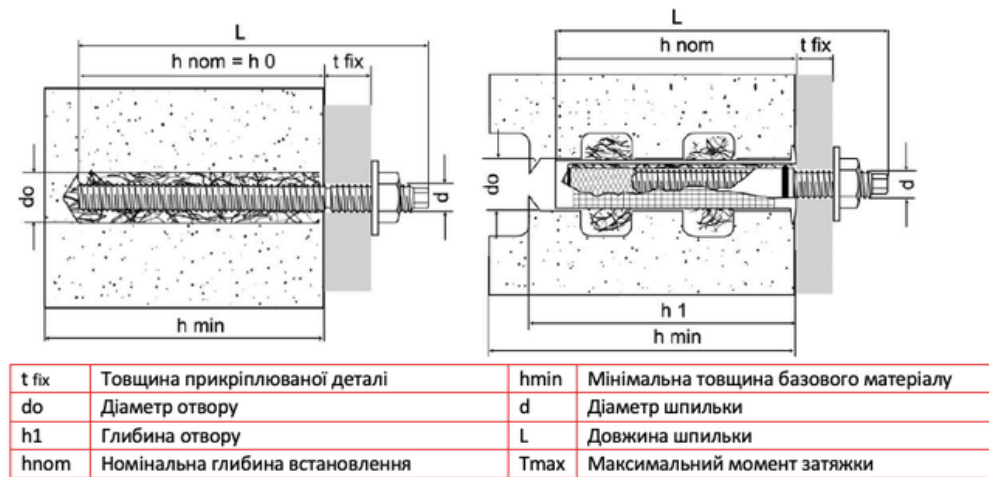


Рисунок 2.8 – Закріплення хімічного анкера

Аналіз конструктивного устрою та кріпильних вузлів утеплених фасадів виявив, що загальним і суттєвим недоліком усіх систем навісного утеплення є ненадійність елементів кріплення парогідроізоляційного шару. Це призводить до ризику розкриття місць з'єднання шарів під час виконання робіт і в процесі подальшої експлуатації об'єктів, що, в свою чергу, може створити умови для природного перезволоження утеплювача, що знижує його теплоізоляційні властивості і призводить до його передчасного руйнування.

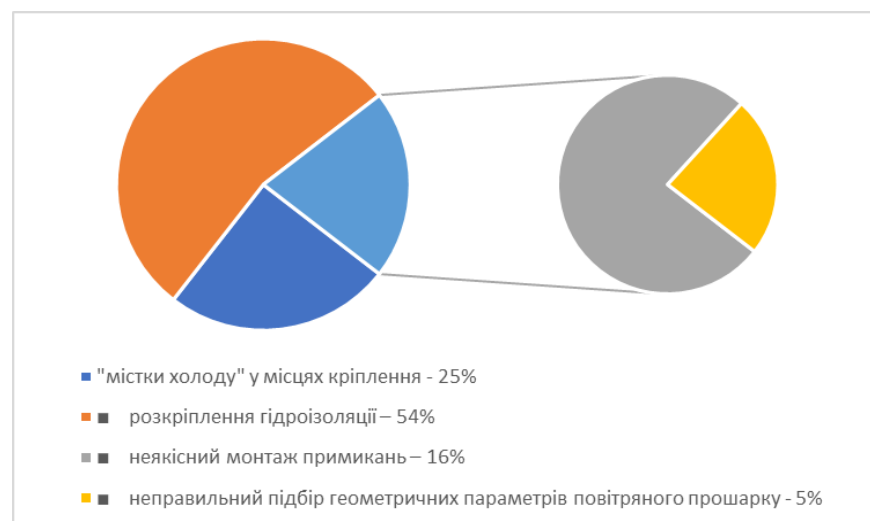


Рисунок 2.9 - Причини зниження теплоізолюючих властивостей навісних фасадних систем

2.2 Дослідження та оцінка матеріалів, які застосовуються в конструкціях

Утеплюючий шар, що є частиною конструкції навісного вентиляованого фасаду, має значний вплив на теплотехнічні характеристики. Тому вибір матеріалів для утеплення слід здійснювати з великою обережністю. Основна вимога до утеплювача полягає в забезпеченні збереження тепла в приміщенні та ефективній провідності водяної пари. Однак не всі матеріали відповідають цим вимогам. Наприклад, жорстко-структурований та екструзійний пінополістирол (ЕППС) мають низьку гігроскопічність, що обмежує їх використання для зовнішнього утеплення (лише 20% від загального обсягу навісних конструкцій).

Структура матеріалу з замкнутими порами формується внаслідок технології виробництва. Пінополістирол отримується шляхом спінювання гранул та обробки їх гарячою водяною парою. У процесі циклічного повторення знижується щільність гранул полістиролу, утворюючи щільну та однорідну масу, яка висихає на свіжому повітрі. Висушення зменшує вологість пор, що завершує формування структури. Ця пориста структура знижує теплообмін з навколишнім середовищем, тому теплопровідність утеплювача коливається в межах 0,033-0,036 Вт/м·С.

ЕППС складається з полістиролу та стирольних кополімерів. Гранули стирола заповнюються газом (природним або вуглекислим, якщо потрібно отримати вогнетривкий матеріал) і розчиняються в полімерній масі. Потім суміш нагрівають парою, внаслідок чого гранули збільшуються в об'ємі і спікаються в єдину масу. Теплотехнічні характеристики такого матеріалу становлять 0,035-0,038 Вт/м·С. Для покращення технічних характеристик до складу утеплювача додають антипірени, пластифікатори та барвники.

Також варто зазначити, що спінені утеплювачі можуть легко загорятися, незважаючи на зусилля виробників покращити їх склад за рахунок різних вогнезахисних добавок. При їх горінні виділяється їдкий і токсичний дим. Крім

того, теплоізоляційний матеріал може руйнуватися під впливом прямого сонячного світла, тому не рекомендується залишати його на відкритому повітрі без захисту.

Серед переваг пінопластових утеплювачів можна виділити їх міцність, простоту монтажу, гарну звукоізоляцію та доступну ціну. В процесі експлуатації вони не виділяють токсичних сполук, небезпечних для людини. Термін служби таких матеріалів становить близько 50 років за умов нормальної експлуатації.

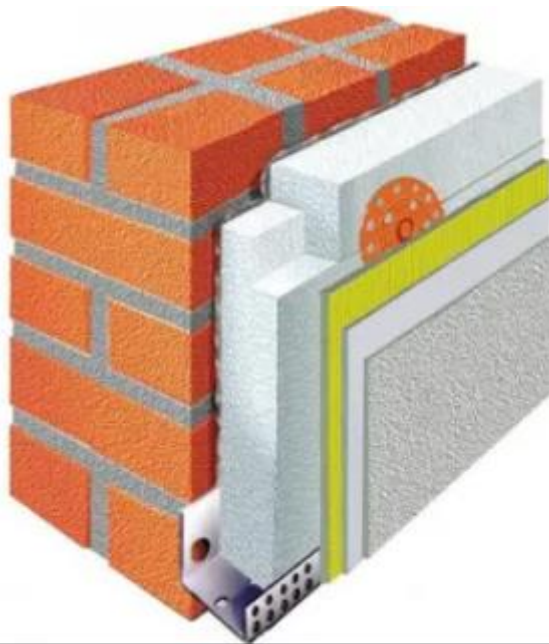


Рисунок 2.10 - Застосування пінополістиролу при утепленні зовнішніх стін

Найпоширенішим типом теплоізоляції, який застосовується в навісних фасадних конструкціях, є мінеральна вата, що займає 80% від усіх встановлених фасадів. Вона виробляється з натуральних матеріалів, таких як базальт або шлак, шляхом їх попереднього нагрівання до температури 1500-2000 °C. Після цього волокна спресовуються, формуючи однорідну структуру. Завдяки цьому отриманий утеплювач має низьку теплопровідність на рівні приблизно 0,038-0,045 Вт/м·C, що є його ключовою перевагою.

Крім того, цей утеплювач забезпечує хорошу звукоізоляцію, що робить його підходящим для будинків з підвищеними вимогами до рівня шуму та вібрації. Мінеральна вата є негорючою та стійкою до шкідливого впливу гризунів і мікроорганізмів завдяки наявності в її складі природних компонентів. Термін служби цього матеріалу становить близько 10-20 років, хоча виробники часто завищують цей показник.

Серед недоліків мінеральної вати варто зазначити її високу паро- та вологопроникність. Збирання вологи в порах матеріалу може призводити до руйнування його структури та погіршення теплотехнічних властивостей. Товщина утеплювального шару з мінеральної вати може бути двох стандартних розмірів — 50 і 100 мм, однак можливе використання двошарового утеплення з різною щільністю відповідно до проектних вимог, при цьому верхній шар повинен мати більшу щільність, ніж нижній.

Крім мінеральної вати, в теплоізоляції також застосовують базальтову вату та скловату.



Рисунок 2.11 - Застосування мінвати при утепленні зовнішніх стін

Одна з нових розробок у сфері теплоізоляції останніх років — це PIR-плита. Вона являє собою спінений поліізоціанурат, матеріал, який за складом і

властивостями нагадує звичний пінопласт та його похідні, але вирізняється використанням спеціальних речовин (наповнювачів) у процесі виготовлення.

Основні технічні характеристики включають жорстку спінену комірчасту структуру з осередками розміром кілька мікрометрів, внаслідок чого щільність матеріалу не перевищує 45-60 кг/м³. Головним компонентом для виробництва PIR-плит є метилендифенілдіізоціанат, який при впливі високих температур і додаванні спінюючих агентів перетворюється на міцний твердий пористий полімер.

Завдяки своїй щільній та однорідній структурі поліізоціанурат має високу міцність на стиск і найнижчу теплопровідність серед штучних утеплювачів, яка становить 0,02 Вт/м·°С. PIR-плита не вбирає вологу, тому при її монтажі не потрібні додаткові витрати на паро- та гідроізоляцію. Щільно закриті пори матеріалу запобігають виникненню конденсату всередині плити. Термін служби цього матеріалу, за словами виробників, складає принаймні 50 років.

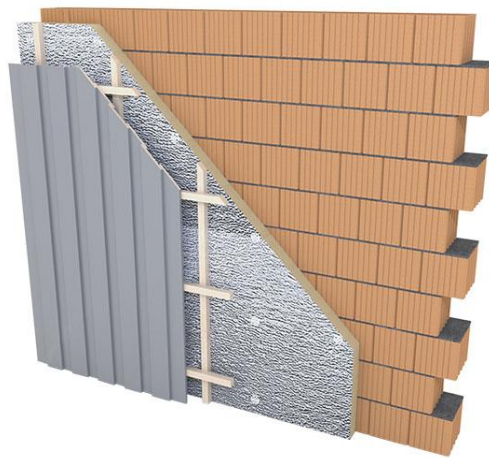


Рисунок 2.12 – PIR – плита, як утеплювач навісного фасаду

Результати аналізу теплотехнічних характеристик теплоізоляційних матеріалів відповідно до вимог нормативної документації.

Таблиця 2.1 – Теплотехнічні характеристики утеплювачів

Матеріал утеплювача	Мінеральна вата	Пінополістирол	Пінополістирол екструзійний	Поліізоціанурат (PIR плита)
Щільність кг/м ³	50-125	10-38	25-45	30-50
Товщина, мм	50-200	40-140	20-150	50-100
Питома теплоємність, кДж/кг °С	0,84	1,34	1,34	1,29
Теплопровідність, Вт/м С	0,038-0,045	0,036-0,041	0,029-0,03	0,02-0,024
Вологість, %	5	10	2	2
Теплосвоєння, Вт/м ² С	0,31-0,35	0,38-0,45	0,35-0,36	0,37-0,4
Паропроникність, мг/мч Па	0,37	0,05	0,005	0,002
Вартість 1м ² , товщиною 100 мм, грн.	177-655	318	306-410	275-455

Заключним етапом обробки фасаду зовнішньої стіни є облицювальний шар. Основні його функції полягають не лише в забезпеченні естетичного вигляду, але й у захисті попередніх конструкцій, таких як теплоізоляційний шар та металевий каркас.

При виборі матеріалу для облицювання важливо враховувати тип будівлі та умови її експлуатації. Наприклад, панелі великого формату не рекомендується використовувати в висотних будинках через високе вітрове навантаження.

На нижній діаграмі представлені результати аналізу ринку облицювальних матеріалів, які використовуються в навісних огороженнях.

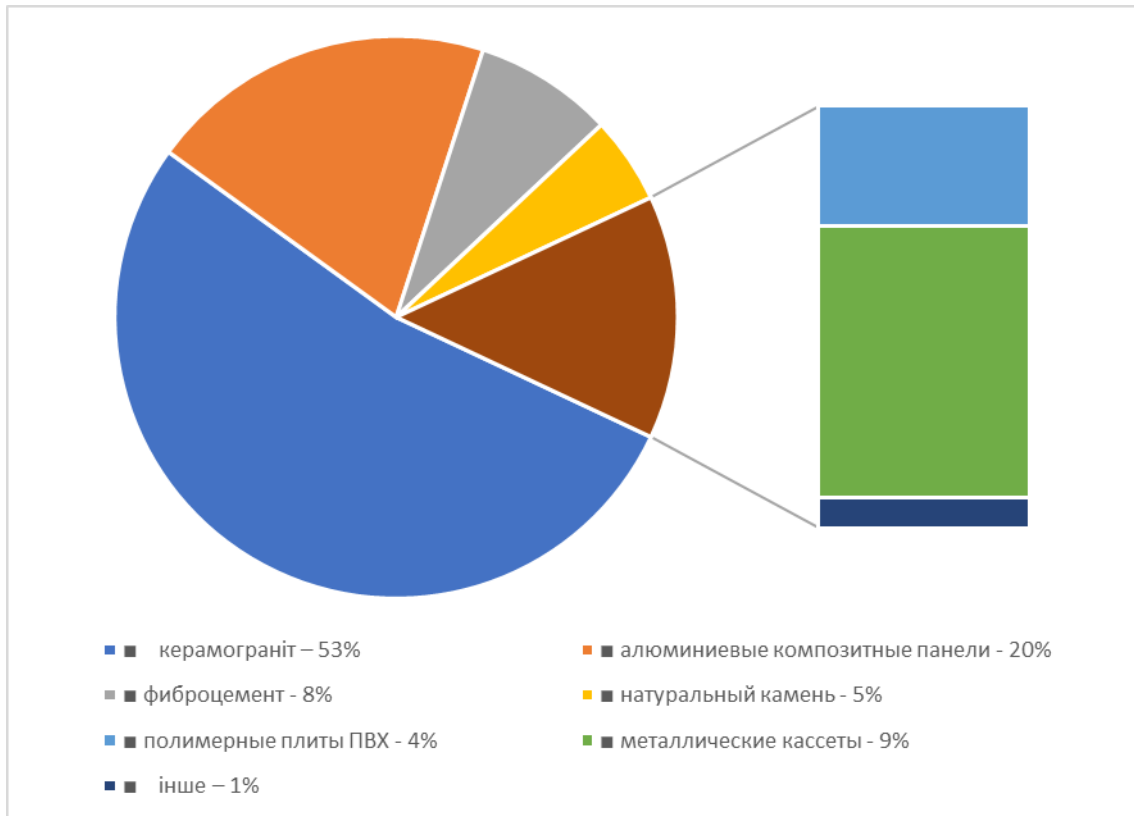


Рисунок 2.13 – Співвідношення застосовуваних оздоблювальних матеріалів для навісних фасадних систем

Серед найбільш поширених видів зовнішнього оформлення, як видно, можна виділити керамограніт, фіброцемент, полімерні матеріали, алюмінієві (композитні) панелі та металеві касети. Спочатку для облицювання використовувалися природні матеріали, такі як мармур, граніт та базальт, які славляться високою міцністю та зносостійкістю. Однак загальний недолік цих виробів полягає у їхній високій вартості та значній вазі.

Ще одним видом зовнішнього оформлення є керамограніт, який виготовляється шляхом спікання глини, польового шпату, кварцового піску та пігментів при температурі 1200 °C. Основна перевага цього матеріалу — висока міцність, що іноді перевершує натуральні аналоги, з привабливою вагою. Тому такі плити часто використовують для обробки нижніх рівнів стін або цоколя. Керамограніт має добрі звукоізоляційні властивості, є екологічним, пожежобезпечним, витривалим до навантажень, легко ремонтується і є

доступним за ціною. Крім того, фасади з керамограніту можна монтувати за будь-яких погодних умов, що сприяє підвищенню продуктивності праці.

Проте суттєвим недоліком цього матеріалу є його масивність, що вимагає посилення каркасної системи та фундаменту будівлі. Фіброцемент, матеріал, що імітує камінь, також часто використовується в конструкціях навісного типу. Він виготовляється з цементу та природних волокнистих наповнювачів, що надає йому високу міцність на вигин. Оздоблювальні плити мають відмінні звуко- та теплоізоляційні характеристики, стійкі до біологічних і атмосферних впливів, є екологічними та пожежобезпечними. Особливістю використання цього матеріалу є кріплення за допомогою клямерів у відкритий спосіб.

Альтернативою природним матеріалам для облицювання будівель є полімерні панелі з полівінілхлориду (ПВХ). Виробляються вони шляхом полімеризації нафтохімічних продуктів і натрію хлориду при високих температурах, тому їх виготовлення є трудомістким і високотехнологічним процесом. Фасади з полімерних плит відрізняються тривалим терміном служби, водонепроникністю, малою вагою та легкістю в обробці, що сприяє прискоренню монтажних робіт. Основним недоліком цього матеріалу є його крихкість за низьких температур. Для підвищення міцності та морозостійкості панелей використовують мінеральні наповнювачі або скловолокно як армуючий шар.

Алюмінієві (композитні) панелі також застосовуються в облицювальних роботах. Цей легкий, пластичний і міцний матеріал має шумоізолюючі властивості та стійкість до ультрафіолетового випромінювання, здатний витримувати температурні коливання від -58 до +80 °C. Вироби відповідають вимогам пожежної безпеки, є важко займистими та слабогорючими (ГЗ - Г4), деформуються лише при температурах понад 115 °C, а кількість токсичних речовин, що виділяються під час горіння, незначна. Однак, у використанні алюмінієвих (композитних) матеріалів для зовнішнього облицювання є недоліки: через невелику товщину панелі можлива корозія при ушкодженні фарбувального шару, а також утворення подряпин і вм'ятин на поверхні.

Також використовуються інші облицювальні вироби:

ЛВД-панелі (HLP), що виготовляються шляхом пресування паперу, смол та деревного волокна під високим тиском. Вони легкі, стійкі до ультрафіолетового світла, відкритого вогню та атмосферних опадів, але не знайшли широкого застосування через високу вартість;

Лінеарні панелі — спеціальний тип металевих виробів, які монтуються на металевий каркас. Вони легкі, хімічно та біологічно стійкі з міцним кріпленням між елементами фасаду;

Скло — ударостійке, армоване, ламіноване або затоноване, що забезпечує максимальну інсоляцію в приміщеннях. Проте, скляні вироби є дорогими та складними у монтажі;

Сонячні панелі — один з найдорожчих типів облицювання будівель, виконаний у вигляді електронної системи, що служить альтернативним джерелом електроенергії.

РОЗДІЛ 3. ТЕОРЕТИЗАЦІЯ ОПТИМІЗАЦІЇ УЛАШТУВАННЯ СИСТЕМ УТЕПЛЕННЯ ФАСАДІВ

3.1 Розробка теоретизованих підходів до вдосконалення систем устрою навісних фасадів

Детальний аналіз елементів навісного фасаду показав, що однією з причин тепловтрат є недостатня герметичність кріпильних елементів парогідроізоляційного шару та низька зносостійкість самої ізоляції. При використанні рулонної пароізоляції, як геотекстиль або мембрана, монтаж здійснюється внахлест із застосуванням великої кількості кріпильних деталей, що збільшує витрати на утеплення фасаду. Крім того, при неякісному монтажі стики шарів можуть роз'єднуватися, що призводить до погіршення теплотехнічних характеристик ізоляції та прискорює її зношування.

Для підвищення експлуатаційних характеристик та скорочення витрат на обслуговування навісних фасадів пропонується замінити традиційний гідроізоляційний матеріал (геотекстиль) на двокомпонентну бітумно-полімерну мастику – рідку гуму. Цей матеріал не тільки має низку переваг при встановленні, але й забезпечує високий теплозахист, перешкоджаючи втраті тепла із внутрішніх приміщень.

На підтвердження проведено порівняльний аналіз різних конструкцій навісних фасадів: виконано основні розрахунки тепловологісного режиму та побудовано графіки температурного розподілу в товщі огорожувальної конструкції з використанням рулонних гідроізоляторів та бітумно-полімерної мастики.

Об'єктом дослідження приймаємо довільну триповерхову будівлю у м. Запоріжжя. Параметри зовнішнього повітря для розрахунку такі:

$t_H = -21\text{ }^{\circ}\text{C}$ - температура зовнішнього повітря найхолоднішої п'ятиденки з імовірністю 0,92;

$t_{0T} = +1,1 \text{ }^{\circ}\text{C}$ - середня температура періоду із зовнішньою температурою нижче $+8 \text{ }^{\circ}\text{C}$;

$Z_{0T} = 170$ днів - тривалість періоду із середньодобовою температурою зовнішнього повітря нижче $+8 \text{ }^{\circ}\text{C}$;

$v_n = 6 \text{ м/с}$ - максимальна середня швидкість вітру в січні;

$\phi_n = 85\%$ - середня місячна відносна вологість повітря в найхолодніший місяць.

Параметри внутрішнього мікроклімату приміщення:

$t_B = +21 \text{ }^{\circ}\text{C}$ - розрахункова температура повітря;

$\phi_B = 60\%$ - відносна вологість повітря;

$v_n = 0,3 \text{ м/с}$ - швидкість повітряного потоку.

Таблиця 3.1 – Теплотехнічні характеристики матеріалів для фасадів з мінераловатним утеплювачем

Найменування матеріалу	Щільність ρ , кг/м^3	Товщина δ , м	Теплопровідність λ , $\text{Вт/(м}^{\circ}\text{C)}$	Теплозасвоєння s , $\text{Вт/(м}^2\text{ }^{\circ}\text{C)}$
Вапнянопіщаний розчин Ceresit	1600	0,010	0,82	9,76
Кладка з керамічної цегли на цементно-піщаному розчині	1600	0,51	0,64	8,64
Мінераловатна плита ROCKWOOL	100	0,1	0,044	0,53
Ізоспан QA proff	800	0,0006	0,17	3,53
Повітряний прошарок	$R_{вз} = 0,15 (\text{м}^2 \text{ }^{\circ}\text{C})/\text{Вт}$			0
Фасадная панель VOX KERRAFRONT TREND FS-301 Anthracite STONE	1100	0,006	0,23	5,87

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

Найменування матеріалу	Щільність ρ , кг/м ³	Товщина δ , м	Теплопровідність λ , Вт/(м °С)	Теплозасвоєння s , Вт/(м ² °С)
Вапнянопіщаний розчин Ceresit	1600	0,010	0,82	9,76
Кладка з керамічної цегли на цементно-піщаному розчині	1600	0,51	0,64	8,64
Мінераловатна плита ROCKWOOL	100	0,1	0,044	0,53
Мастика полімерна високоеластична «Поліеласт»	1200	0,003	0,2	3,53
Повітряний прошарок	$R_{вз} = 0,15 \text{ (м}^2 \text{ °С)/Вт}$			0
Фасадная панель VOX KERRAFRONT TREND FS-301 Anthracite STONE	1100	0,006	0,23	5,87

Для визначення градусо-днів (ГД) для опалювального періоду в м. Запоріжжя, при температурі в приміщенні 21 °С, потрібно використовувати наступну формулу:

$$ГД = \sum (T_n - T_z) \times D \quad (3.1)$$

де:

T_n — температура, яку потрібно підтримувати в приміщенні (в даному випадку 21 °С),

T_z — середня температура зовнішнього повітря в цей період (беремо середнє значення для холодного сезону),

D — кількість днів при такій температурі.

Крок 1: Середня температура зовнішнього повітря

Приблизно, середня температура зовнішнього повітря в холодний період у Запоріжжі становить близько -1°C .

Крок 2: Розрахунок градусо-доб

Підставимо значення у формулу:

$$\text{ГД}=(21-(-1))\times D=(21+1)\times D=22\times D \quad (3.2)$$

Крок 3: Тривалість опалювального періоду

Тривалість опалювального періоду в Запоріжжі, як правило, становить близько 200 - 210 днів.

Припустимо, що ми беремо 210 днів:

$$\text{ГД}=22\times 210=4620^{\circ}\text{C/дб}$$

Таким чином, градусо-дб для опалювального періоду в м. Запоріжжя при температурі у приміщенні 21°C становить приблизно 4620°C/дб .

Розрахуємо приведений опір теплопередачі звичайної конструкції згідно заданих даних за таблицею 3.1.

Для розрахунку приведеної теплопередачі конструкції (U) потрібно використовувати формулу:

$$U=1/R_{\text{вс}} \quad (3.3)$$

де

$R_{\text{вс}}$ — загальний опір теплопередачі, який обчислюється за формулою:

$$R_{\text{вс}}=R_1+R_2+R_3+\dots+R_n+R_{\text{в}}$$

Опір теплопередачі для кожного шару конструкції обчислюється за формулою:

$$R = \delta / \lambda \quad (3.4)$$

де:

δ — товщина шару, м;

λ — теплопровідність, Вт/(м·С).

Також слід врахувати опір повітряного прошарку $R_v = 0,15(\text{м}^2 \cdot \text{С})/\text{Вт}$.

Тепер обчислимо загальний опір

Підставимо значення:

$$R_{\text{вс}} = 0,0122 + 0,7969 + 2,2727 + 0,0035 + 0,0261 + 0,15$$

$$R_{\text{вс}} \approx 3,2614(\text{м}^2 \cdot \text{С})/\text{Вт}$$

Тепер розрахуємо приведену теплопередачу U :

$$U = 1/R_{\text{вс}} \approx 1/3,2614 \approx 0,306 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{С})$$

Приведена теплопередача конструкції з використанням зазначених матеріалів становить приблизно 0,306 Вт/(м²·С).

Розрахуємо приведений опір теплопередачі запропонованої конструкції згідно заданих даних за таблицею 3.2

Підставимо значення:

$$R_{\text{вс}} = 0,0122 + 0,7969 + 2,2727 + 0,015 + 0,0261 + 0,15$$

$$R_{\text{вс}} \approx 3,2729(\text{м}^2 \cdot \text{С})/\text{Вт}$$

Приведений опір теплопередачі конструкції з використанням зазначених у таблиці 3.2 матеріалів становить приблизно 3,273 (м²·С)/Вт.

Розрахуємо температуру у площині можливої конденсації згідно даних у таблиці 3.1

$$T_{\text{к}} = T_{\text{вн}} - \Delta T$$

де

$$\Delta T = ((T_{\text{вн}} - T_{\text{зн}})/R_{\text{вс}}) * R_1$$

Різниця температур:

$$T_{\text{вн}} - T_{\text{зн}} = 21 - (-5.2) = 21 + 5.2 = 26.2^\circ\text{С}$$

Обчислимо ΔT :

$$\Delta T = (26.2/3.2614) \cdot R_1$$

$$\Delta T = (26.2/3.2614) \cdot 0.0122 \approx 0.0967^\circ\text{C}$$

Тепер знаходимо температуру у площині конденсації:

$$T_k = 21 - 0.0967 \approx 20.9033^\circ\text{C}$$

Температура у площині можливої конденсації для м. Запоріжжя становитиме приблизно 20,90 °С. Це означає, що конденсація може початися, якщо температура повітря знизиться нижче цієї позначки.

Розрахуємо температуру у площині можливої конденсації згідно даних у таблиці 3.2

Розрахуємо різницю температур:

$$\Delta T = T_{\text{вн}} - T_{\text{зн}} = 21 - (-5.2) = 21 + 5.2 = 26.2^\circ\text{C}$$

Обчислимо температуру у площині конденсації

$$T_k = T_{\text{вн}} - \Delta T \cdot (R_1/R_{\text{вс}})$$

$$T_k = 21 - 26.2 \cdot (0.0122/3.2764)$$

Розрахуємо $\Delta T \cdot (R_1/R_{\text{вс}})$

$$\Delta T \cdot R_1/R_{\text{вс}} \approx 26.2 \cdot (0.0122/3.2764) \approx 0.0933$$

Тепер підставимо у формулу для T_k

$$T_k \approx 21 - 0.0933 \approx 20.9067^\circ\text{C}$$

Температура у площині можливої конденсації для м. Запоріжжя становитиме приблизно 20.91 °С. Це означає, що конденсація може початися, якщо температура повітря знизиться нижче цієї позначки.

Проведемо оцінку теплонакопичувальних здатностей конструкції огорожуючого елемента, або його теплоємності, що визначаємо за формулою:

$$C = \sum_{i=1}^n (\rho_i \cdot c_i \cdot V_i) \quad (3.5)$$

де:

C — теплонакопичувальна здатність (в Дж/°С);

ρ_i — щільність i -го матеріалу (в $\text{кг}/\text{м}^3$);

c_i — питома теплоємність i -го матеріалу (в $\text{Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$);

V_i — об'єм i -го матеріалу (в м^3).

Об'єм матеріалу визначається так само, як і раніше:

$$V_i = \delta_i \cdot A$$

δ_i — товщина i -го матеріалу (в м), а

A — площа поверхні (в м^2).

Розрахуємо масу та внесок у загальну теплонакопичувальну здатність кожного матеріалу:

Вапняно-піщаний розчин Ceresit:

$$M_1 = \rho_1 \cdot \delta_1 \cdot A = 1600 \cdot 0,010 \cdot 1 = 16 \text{ кг}$$

$$C_1 = \rho_1 \cdot c_1 \cdot V_1 = 1600 \cdot 840 \cdot (0,010 \cdot 1) = 13440 \text{ Дж}/^\circ\text{C}$$

Кладка з керамічної цегли:

$$M_2 = \rho_2 \cdot \delta_2 \cdot A = 1600 \cdot 0,51 \cdot 1 = 816 \text{ кг}$$

$$C_2 = \rho_2 \cdot c_2 \cdot V_2 = 1600 \cdot 840 \cdot (0,51 \cdot 1) = 68608 \text{ Дж}/^\circ\text{C}$$

Мінераловатна плита ROCKWOOL:

$$M_3 = \rho_3 \cdot \delta_3 \cdot A = 100 \cdot 0,1 \cdot 1 = 10 \text{ кг}$$

$$C_3 = \rho_3 \cdot c_3 \cdot V_3 = 100 \cdot 1500 \cdot (0,1 \cdot 1) = 15000 \text{ Дж}/^\circ\text{C}$$

Мастика полімерна «Поліеласт»:

$$M_4 = \rho_4 \cdot \delta_4 \cdot A = 1200 \cdot 0,003 \cdot 1 = 3.6 \text{ кг}$$

$$C_4 = \rho_4 \cdot c_4 \cdot V_4 = 1200 \cdot 2000 \cdot (0,003 \cdot 1) = 7200 \text{ Дж}/^\circ\text{C}$$

Ізоспан QA proff:

$$M_5 = \rho_5 \cdot \delta_5 \cdot A = 800 \cdot 0,0006 \cdot 1 = 0.48 \text{ кг}$$

$$C_5 = \rho_5 \cdot c_5 \cdot V_5 = 800 \cdot 1500 \cdot (0,0006 \cdot 1) = 720 \text{ Дж}/^\circ\text{C}$$

Фасадна панель VOX KERRAFRONT TREND FS-301:

$$M_6 = \rho_6 \cdot \delta_6 \cdot A = 1100 \cdot 0,006 \cdot 1 = 6.6 \text{ кг}$$

$$C_6 = \rho_6 \cdot c_6 \cdot V_6 = 1100 \cdot 900 \cdot (0,006 \cdot 1) = 5940 \text{ Дж/}^\circ\text{C}$$

Загальна теплонакопичувальна здатність

Тепер підсумуємо всі значення:

$$C = C_1 + C_2 + C_3 + C_4 + C_5 + C_6$$

$$C = 13440 + 68608 + 15000 + 7200 + 720 + 5940$$

$$C \approx 103908 \text{ Дж/}^\circ\text{C}$$

$$C \approx 103908 \text{ Дж/}^\circ\text{C}$$

Теплонакопичувальна здатність огорожуючого елемента становить приблизно 103.91 кДж/м²

Розрахуємо поверхневу щільність конструкції.

Щоб знайти поверхневу щільність багатошарової конструкції, потрібно обчислити внесок кожного шару в загальну масу на одиницю площі. Це робиться шляхом множення щільності матеріалу на його товщину, а потім підсумовування отриманих значень для всіх шарів. Поверхнева щільність, таким чином, виражається в кг/м².

Для кожного шару конструкції:

$$m_i = \rho_i \times \delta_i \tag{3.6}$$

де:

m_i — поверхнева щільність шару в кг/м²,

ρ_i — щільність матеріалу в кг/м³,

δ_i — товщина шару в метрах.

Сумарна поверхнева щільність всієї конструкції:

$$M = \sum m_i = \sum (\rho_i \times \delta_i) \tag{3.7}$$

Вапняно-піщаний розчин Ceresit:

$$m=1600\text{кг/м}^3 \times 0.010\text{м}=16\text{кг/м}^2$$

Кладка з керамічної цегли:

$$m=1600\text{кг/м}^3 \times 0.51\text{м}=816\text{кг/м}^2$$

Мінераловатна плита ROCKWOOL:

$$m=100\text{кг/м}^3 \times 0.1\text{м}=10\text{кг/м}^2$$

Мастика полімерна «Поліеласт»:

$$m=1200\text{кг/м}^3 \times 0.003\text{м}=3.6\text{кг/м}^2$$

Ізоспан QA proff:

$$m=800\text{кг/м}^3 \times 0.0006\text{м}=0.48\text{кг/м}^2$$

Фасадна панель VOX KERRAFRONT:

$$m=1100\text{кг/м}^3 \times 0.006\text{м}=6.6\text{кг/м}^2$$

Підсумовуємо всі отримані значення для шарів:

$$M=16+816+10+3.6+0.48+6.6=852.68\text{кг/м}^2$$

Таким чином, поверхнева щільність всієї конструкції становить 852.68 кг/м².

Розрахуємо різницю між внутрішньою температурою приміщення та температурою кожного шару конструкції, для цього потрібно:

Задати температуру повітря всередині приміщення ($t_{\text{внутр}}$) та зовнішню розрахункову температуру ($t_{\text{зовн}}$).

Розрахувати загальний опір теплопередачі конструкції ($R_{\text{констр}}$) — це вже було зроблено раніше.

Знайти опір теплопередачі до кожного шару конструкції і визначити температуру на межах між шарами за допомогою теплових характеристик.

Температурний перепад через кожний шар можна знайти через частку опору конкретного шару (R_i) від загального опору конструкції $R_{\text{констр}}$:

$$\Delta t_i = \left(\frac{R_i}{R_{\text{констр}}} \right) \times \Delta T \quad (3.8)$$

де:

$$\Delta T = t_{\text{внутр}} - t_{\text{зовн}} \quad (3.9)$$

Температура на межі шарів (для шару i) буде обчислюватися як:

$$t_{\text{шар}_i} = t_{\text{внутр}} - \sum_{j=1}^i \Delta t_j \quad (3.10)$$

Почнемо з того, що прийнемо стандартні значення: $t_{\text{внутр}} = 21^\circ\text{C}$ — температура всередині приміщення.

$t_{\text{зовн}} = -15^\circ\text{C}$ — зовнішня розрахункова температура для Запоріжжя.

Проведемо розрахунок різниці температур між внутрішньою температурою та температурою на межах кожного шару.

Температури на межах між кожним шаром конструкції (від внутрішньої до зовнішньої сторони) розраховані наступним чином:

Межа після вапняно-піщаного розчину Ceresit: 20.87°C

Межа після кладки з керамічної цегли: 12.10°C

Межа після мінераловатної плити ROCKWOOL: -12.90°C

Межа після мастики Поліеласт: -13.06°C

Межа після повітряного прошарку: -14.71°C

Зовнішня поверхня фасадної панелі VOX KERRAFRONT: -15.00°C

Це означає, що температура в площині можливого утворення конденсату (в зоні, де вона опускається нижче точки роси) може знаходитися в шарі мінераловатної плити ROCKWOOL або на межі з мастикою.

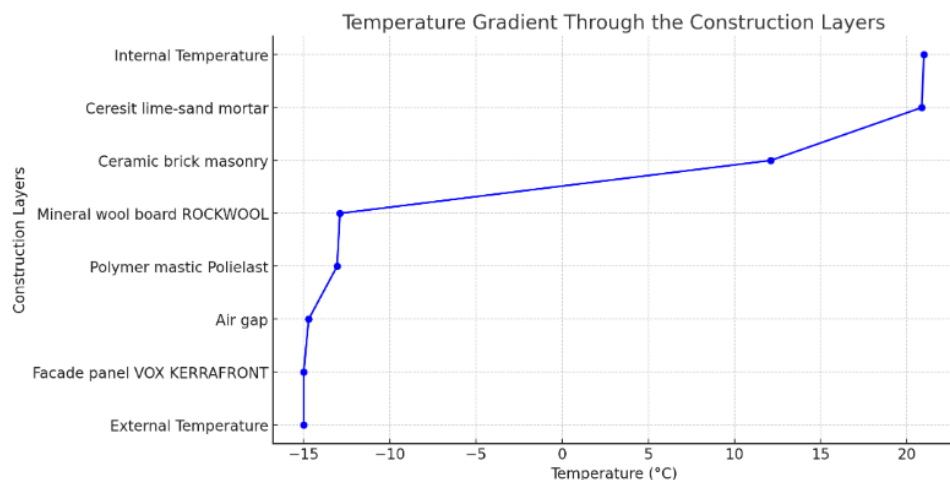


Рисунок 3.1 - Графік перепаду температури через шари конструкції

Рисунок 3.1 ілюструє зниження температури від внутрішньої сторони приміщення до зовнішньої поверхні, показуючи, де можливий ризик утворення конденсату на основі зниження температури нижче точки роси.

3.2 Визначення теретизованого енергоспоживання будівлі, при використанні першого та другого варіантів утеплення, згідно таблиць 3.1 та 3.2

Для теоретизованого визначення енергоспоживання з двома варіантами утеплення, використаємо стандартні методики згідно ДСТУ 9190:2022 «Енергетична ефективність будівель. Метод розрахунку енергоспоживання під час опалення, охолодження, вентиляції, освітлення та гарячого водопостачання» та ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 «Будівельна кліматологія» для м. Запоріжжя.

Будем використовувати віртуальні (уявні) параметри для будівлі.

Геометричні параметри будівлі:

Загальна висота будівлі: 27,68 м

Кількість житлових поверхів: 9

Висота типового поверху: 3,1 м

Висота підвального приміщення: 2,6 м

Висота машинного відділення: 2,6 м

Площі огорожувальних конструкцій:

Зовнішні стіни:

Північно-східний напрямок: 1999,365 м²

Південно-східний напрямок: 363,526 м²

Південно-західний напрямок: 1796,144 м²

Північно-західний напрямок: 361,17 м²

Покриття: 1100,577 м²

Перекриття над підвальним приміщенням: 864 м²

Світлопрозорі конструкції:

Північно-східний напрямок: 328,77 м²

Південно-східний напрямок: 21,06 м²

Південно-західний напрямок: 415,484 м²

Північно-західний напрямок: 21,06 м²

Вхідні двері до будівлі: 14,7 м²

Кондиціонована площа будівлі: 6861,6 м²

Кондиціонований об'єм будівлі: 21270,96 м³

Об'єм будівлі для вентиляції: 17378,6 м³

Коефіцієнт теплопередачі до ґрунту: 325,024 Вт/К

Кліматичні дані для м. Запоріжжя (згідно з ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010):

Середня температура опалювального періоду: +1,1 °С

Тривалість опалювального періоду: 170 днів

Середня температура найхолоднішої п'ятиденки: -21 °С

Середня швидкість вітру в січні: 6 м/с

Середня відносна вологість повітря в найхолодніший місяць: 85%

Параметри внутрішнього мікроклімату:

Температура повітря: +21 °С

Відносна вологість повітря: 60%

Швидкість повітряного потоку: 0,3 м/с

Теплотехнічні характеристики огорожувальних конструкцій:

Стіни (варіант 1, таблиця 3.1):

Приведений опір теплопередачі: 3,2614 м²·°С/Вт

Стіни (варіант 2, таблиця 3.2):

Приведений опір теплопередачі: 3,2729 м²·°С/Вт

Вікна: металопластикові з подвійним склопакетом типу Rehau

Двері: стандартні металопластикові

Інші параметри:

Кратність повітрообміну: стандартна для житлових будівель

Ефективність рекуперації: 30%

Освітлення: стандартні енергоефективні лампи

Кількість мешканців: визначається виходячи з площі (приймаємо 20 м² на особу)

Теплові втрати через огорожувальні конструкції розраховуються за формулою:

$$Q_{\text{втр}} = U \times A \times (T_{\text{вн}} - T_{\text{зовн}}) \times t \quad (3.11)$$

U — коефіцієнт теплопередачі конструкції, Вт/(м²·°C)

A — площа конструкції, м²

$T_{\text{вн}}$ — внутрішня температура, °C

$T_{\text{зовн}}$ — зовнішня температура, °C

t — час, годин

Розрахунок для зовнішніх стін.

Для кожного напрямку розраховуємо теплові втрати окремо, враховуючи площу стін та їх орієнтацію.

Розрахунок для покриття та перекриття над підвалом.

Аналогічно розраховуємо теплові втрати через покриття та перекриття над підвалом, враховуючи їх площу та коефіцієнт теплопередачі.

Розрахунок для вікон та дверей.

Враховуємо теплові втрати через вікна та двері, використовуючи їх площу та відповідні коефіцієнти теплопередачі.

Теплові втрати через вентиляцію розраховуються за формулою:

$$Q_{\text{вент}} = V_{\text{ве}} \times c_{\text{п}} \times \rho_{\text{п}} \times n \times (T_{\text{вн}} - T_{\text{зовн}}) \times (1 - \eta) \quad (3.12)$$

де:

- $V_{\text{ве}}$ — об'єм будівлі для вентиляції, м³ (17378,6 м³);
- $c_{\text{п}}$ — теплоємність повітря, Дж/(кг·°C) (1005 Дж/(кг·°C));
- $\rho_{\text{п}}$ — густина повітря, кг/м³ (1,2 кг/м³);
- n — кратність повітрообм (0,3);

Внутрішні теплові надходження обчислюються як сумарні теплові потоки від людей, побутової техніки та освітлення:

$$Q_{\text{внутр}} = Q_{\text{люди}} + Q_{\text{техніка}} + Q_{\text{освітлення}} \quad (3.13)$$

Для житлових будівель встановлено стандартні теплові надходження:

Люди: приймаємо близько 80 Вт на особу.

Техніка та прилади: обчислюємо за середніми стандартами для житлових будівель.

Освітлення: використовується енергоефективне освітлення, стандартне для житлових приміщень.

Енергоспоживання на гаряче водопостачання розраховується на основі середньої кількості гарячої води, яку використовує кожен мешканець щомісяця, та енергії, необхідної для її нагрівання.

Енергоспоживання на охолодження для літніх місяців розраховується енергоспоживання на охолодження, виходячи з внутрішніх теплових надходжень та коефіцієнтів охолодження для житлових будівель.

На основі зазначених етапів та методик можна визначити помісячне енергоспоживання для кожного варіанта конструкції будівлі. Для цього підставляємо середні місячні кліматичні дані для Запоріжжя та виконуємо розрахунки для кожного місяця з урахуванням різниці температур, внутрішніх надходжень тепла та потреб у нагріванні води.

На основі площі (6861,6 м²) та припущення про 20 м² на одну особу:

Кількість мешканців = 6861,6/20 ≈ 343 особи

Помісячне енергоспоживання для двох варіантів утеплення (в кВт·год):

Варіант 1 (R = 3,2614 м²·°C/Вт):

Січень: 54 737 кВт·год

Лютий: 45 320 кВт·год

Березень: 41 053 кВт·год

Квітень: 24 279 кВт·год

Травень: 13 684 кВт·год

Жовтень: 25 088 кВт·год

Листопад: 37 522 кВт·год

Грудень: 50 176 кВт·год

Варіант 2 ($R = 3,2729 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$):

Січень: 54 651 кВт·год

Лютий: 45 248 кВт·год

Березень: 40 988 кВт·год

Квітень: 24 240 кВт·год

Травень: 13 663 кВт·год

Жовтень: 25 048 кВт·год

Листопад: 37 462 кВт·год

Грудень: 50 096 кВт·год

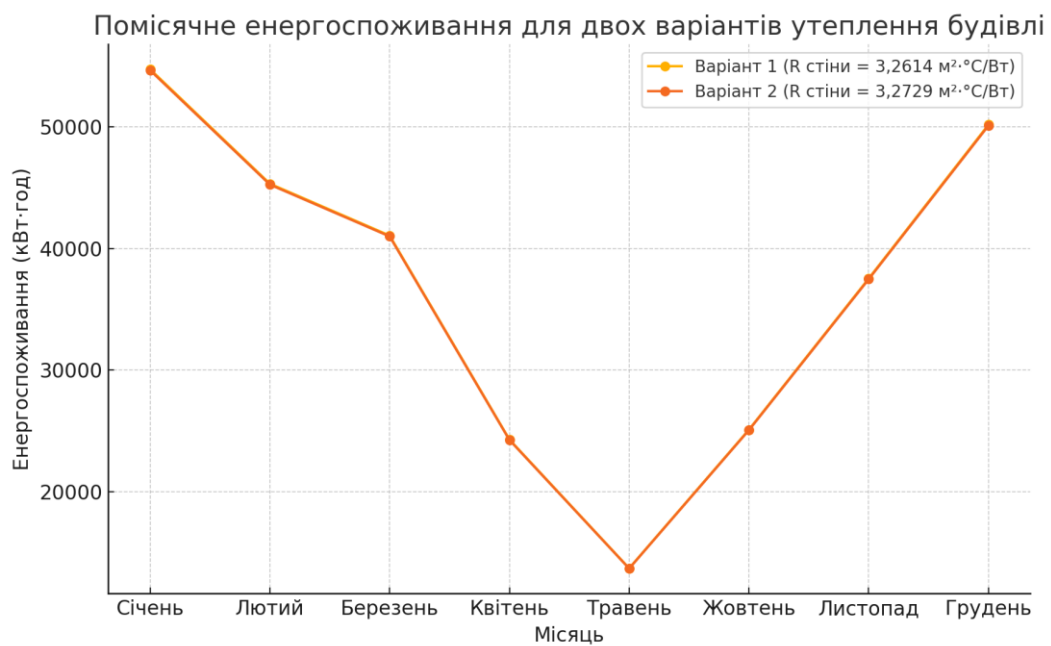


Рисунок 3.2 - Помісячне енергоспоживання будівлі для двох варіантів утеплення

Графік показує, що в холодні місяці (січень, лютий, грудень) споживання енергії є найвищим, поступово знижується до весняних і літніх місяців і знову

збільшується восени. Обидва варіанти демонструють схожі показники з невеликими відмінностями.

Розрахувавши не утеплені стіни для цієї будівлі і взявши за основу 20мм штукатурно внутрішнього шару та 510 мм силікатної цегли отримаємо наступні показники:

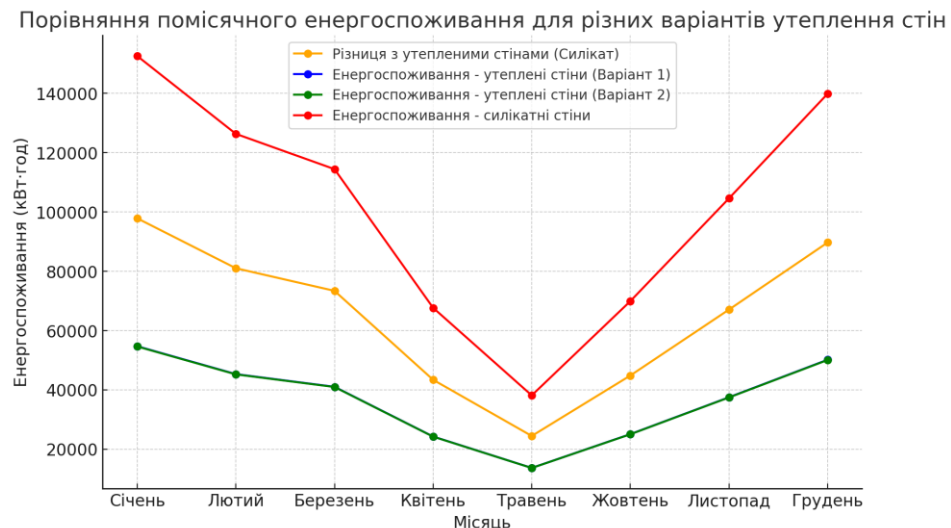


Рисунок 3.3 - порівняння помісячного енергоспоживання будівлі для різних варіантів утеплення стін: синя та зелена лінії показують енергоспоживання для варіантів із високим опором теплопередачі (утеплені стіни); червона лінія відображає енергоспоживання будівлі зі стінами із силікатної цегли; помаранчева лінія представляє різницю в енергоспоживанні між варіантом із силікатною цеглою та утепленими стінами.

Чітко видно, що використання силікатної цегли забезпечує прийнятний рівень енергоефективності, але все ж має вищі тепловтрати порівняно з утепленими варіантами, особливо в зимові місяці

3.3 Визначення засад з можливого удосконалення вибору матеріалів каркасів кріплення шарів навісних фасадів

Удосконалення матеріалів для каркасів навісних фасадів може значно вплинути на енергоефективність будівель. Ось кілька перспективних напрямків

для вибору нових матеріалів, які здатні зменшити теплопередачу через огорожувальні конструкції.

Композити на основі скловолокна або вуглецевого волокна мають значно нижчу теплопровідність, ніж традиційні матеріали, як-от сталь чи алюміній. Вони добре витримують механічні навантаження, забезпечуючи міцність каркаса та ефективно знижуючи втрати тепла через конструкцію.

Наприклад, композити зі скловолокна можуть мати теплопровідність у 20-25 разів нижчу, ніж алюміній, що значно зменшує теплові мости в каркасних конструкціях.

Полімерні матеріали, як-от поліаміди з армуванням, мають високу міцність та низьку теплопровідність, що робить їх чудовою заміною металів у конструкціях навісних фасадів.

Поліаміди або інші армовані полімери мають теплопровідність у 200 разів нижчу, ніж сталь, що значно знижує утворення теплових містків.

Можливе включення спеціальних термопрофілів, виготовлених із матеріалів, що не проводять тепло, у вузлових з'єднаннях каркаса. Це допомагає ізолювати металеві частини конструкції та зменшити теплопередачу.

Ізоляційні вставки з піноскла, поліуретану чи аерогелю також можуть бути інтегровані в конструкцію каркаса для запобігання виникнення точок теплового мосту.

Хоча алюміній зазвичай має високу теплопровідність, його можна використовувати з термічними розривами, які представляють собою вставки з теплоізоляційного матеріалу (поліамід чи інший полімер) між внутрішньою та зовнішньою частинами каркасу.

Це ефективно знижує теплопередачу та підвищує енергоефективність конструкції, при цьому зберігаючи міцність і довговічність фасадного каркасу.

Композити з базальтового волокна можуть використовуватися в умовах високої вологості та агресивних середовищах, забезпечуючи низьку теплопровідність і водночас стійкість до корозії.

Базальтові композити мають теплопровідність на 70-80% нижчу, ніж у сталі, що знижує ризик утворення теплових містків.

Спеціальні покриття з наночастинками можуть створювати додатковий шар ізоляції на поверхні металевих елементів каркаса. Вони не тільки знижують теплопередачу, але й забезпечують захист від корозії та механічного зносу.

Такі покриття можуть зменшити теплопровідність поверхні, покращуючи енергоефективність без зміни конструкції каркаса.

Наприклад, створення багатошарових конструкцій з металу та внутрішньої полімерної ізоляції знижує теплопередачу за рахунок внутрішніх повітряних порожнин або пористих полімерних шарів. Це створює додатковий бар'єр для теплових потоків.

Зменшення контактної площі каркаса з огорожувальною конструкцією або використання малопрофільних кріплень може зменшити теплопередачу. Використання кріплень із мінімальним перетином і додатковими ізоляційними вставками може значно скоротити теплові втрати.

Ці рішення допоможуть підвищити енергоефективність будівлі, зменшити її експлуатаційні витрати на опалення та кондиціювання, а також зробити конструкції більш довговічними та стійкими до зовнішніх впливів.

3.4 Визначення оптимізації процесу зведення вентильованих фасадів

Автоматизація оживила деякі забуті галузі промисловості та здійснила в них справжню революцію. Сьогодні ми спостерігаємо, як майже кожен продукт проходить через роботизовані процеси, де його ретельно перевіряють на відповідність якості та кількісним стандартам. Це принесло чималу користь кінцевому споживачеві — суспільству загалом. Проте, цей значний крок до епохи цифровізації — виклик для багатьох, і індустрія АЕС лише зараз, після тривалого періоду методів «спроб і помилок», повільно адаптується до нього.

Варто зауважити, що така затримка є небажаною, адже будівлі та інфраструктура складають основу нашого суспільства. (Пачон) Прикладом інструментів, які з'явилися завдяки цифровізації, є BIM, будівельні роботи та пристрої доповненої реальності (окуляри чи шоломи). Роботизація в галузі АЕС почалася ще в 80-х роках і мала найбільший вплив на азійські ринки.

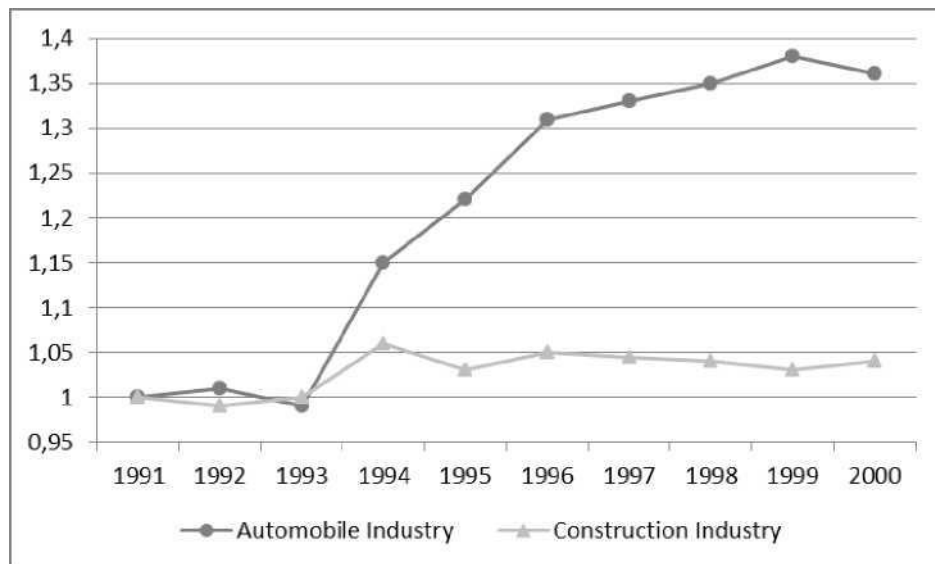


Рисунок 3.4 - Продуктивність будівельної та автомобільної промисловості в Європейському Союзі, останнє десятиліття минулого століття

Причиною значного впливу на азійський ринок, особливо в Японії, є те, що з 80-х років вони активно інвестують у розробку будівельних робіт, виділяючи на це значні кошти (приблизно 1% від валового доходу). Починаючи з 80-х, будівельна галузь Японії стикнулася з дефіцитом кваліфікованих кадрів та зниженням продуктивності. Це сектор, що зазнає масштабних змін, які відбуваються дедалі швидше. Від невеликих інвестицій у дослідження індустрія перейшла до великих фондів та наукових інститутів, спрямованих на прискорення розвитку та поступову заміну робочої сили автоматизованими системами. Промислова революція 4.0 вже випереджає інші сектори, що дозволяє синхронізувати й контролювати процеси.

Попри це, знадобиться час, аби ми дійшли до будівельних майданчиків, де буде 10 інженерів і 70 робітників, адже будівельні об'єкти традиційно є нестабільними та складними для стандартизації, як це можливо, наприклад, в

автомобільній індустрії. З розвитком штучного інтелекту з'являється можливість замінити людську працю, адже він зможе реагувати на середовище та динамічні зміни.

Фасадна індустрія вже починає усвідомлювати, як роботи та цифровізація можуть покращити продукцію, продуктивність, швидкість монтажу та якість. Сьогодні все частіше застосовуються багатофункціональні маніпулятори.

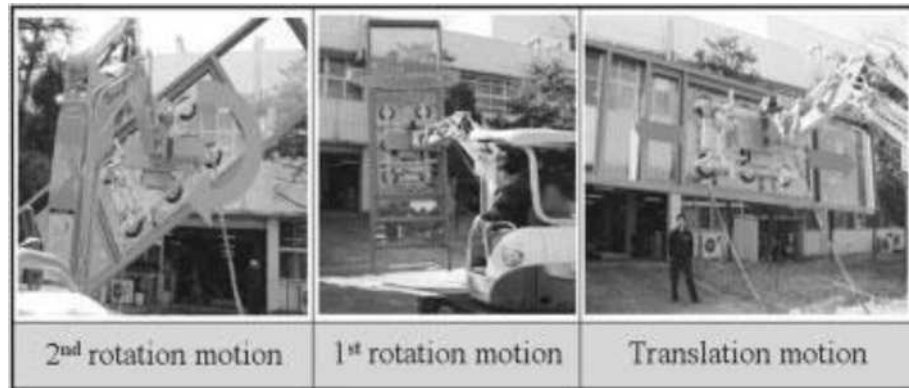


Рисунок 3.5 - Будівельний робот для монтажу навісних стін (CRCWI)

Кожен пристрій обмежений своїми ступенями свободи, які включають три обертальні та три поступальні рухи. Більшість сучасних роботів мають усі шість ступенів. Сьогодні дослідники в галузі будівельних роботів зосереджені на вдосконаленні їхніх рухів, щоб вони могли адаптуватися до конкретних умов (наприклад, їхні гідравлічні "руки" можуть пошкодити матеріал при неправильному русі). Також працюють над тим, щоб роботи могли «розуміти» навколишнє середовище і самостійно приймати відповідні рішення. Перший прорив у цій сфері здійснила Tesla зі своєю Model S, яка завдяки системі автоматизованого водіння оснащена 360-градусним сканером і здатна в мілісекунди обробляти величезну кількість рівнянь для прийняття рішень. Цей принцип застосовується і для будівельних роботів.

Будівельний робот виконує шість основних етапів: переміщення, захоплення, розміщення, позиціонування, з'єднання, відділення і завершення. Для обробки панелі стандартного розміру зазвичай потрібно близько 10-15 хвилин на виконання всього цього робочого процесу.

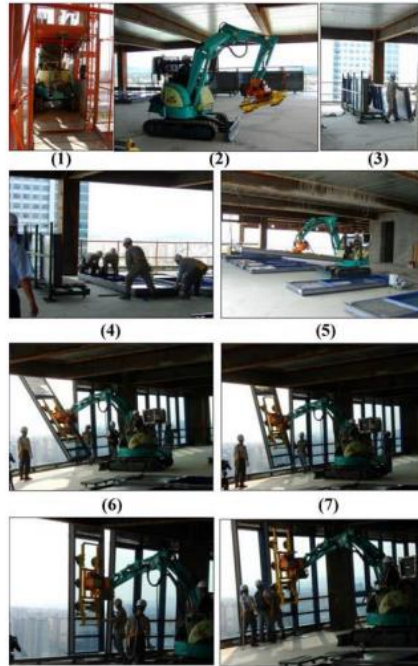


Рисунок 3.6 - Звичайна послідовність робочих процесів при роботі з навісною стіною

Згідно з даними Федерації будівельних підприємств Японії, до 2025 року кількість будівельників зменшиться на 1,28 мільйона порівняно з 2014 роком. Автоматизація сприяє зростанню продуктивності, хоча певні аспекти промисловості залишаються залежними від ручної праці, як-от роботи з інтер'єром або ремісничі деталі (Ясухара, 2017).

Системи Brokk — це роботизовані маніпулятори, призначені для виконання важких і точних робіт у складних умовах. Ці машини здатні виконувати різні завдання, такі як демонтаж, монтаж, буріння, зварювання, різання тощо, завдяки модульній конструкції та можливості встановлення різних змінних інструментів. Розглянемо основні характеристики роботизованих систем Brokk, які можуть бути корисними для робіт з монтажу вентиляованого фасаду.

Brokk має компактний дизайн, що дозволяє йому працювати в обмежених просторах, включаючи будівельні майданчики, де можуть бути складні умови доступу.



Рисунок 3.7 – Компактний дизайн роботизованих систем від фірми brokk

Мобільність систем дозволяє легко переміщувати маніпулятор з однієї ділянки на іншу, навіть у вузьких або важкодоступних місцях.

Системи Brokk можуть оснащуватись різними насадками, такими як гідравлічні щипці, молотки, бурильні установки, ножиці, що робить їх універсальними для різних видів робіт.

Для монтажу фасадів можна використовувати спеціальні кріпильні, свердлильні та різальні насадки, що допомагають у встановленні елементів облицювання та утеплення.

Brokk забезпечує точний контроль і високу точність виконання робіт, що є важливим при монтажі фасадних елементів та кріпильних систем.

Висока вантажопідйомність дозволяє використовувати Brokk для монтажу важких елементів каркасу та утеплювача.

Системи Brokk обладнані системами дистанційного керування, що дозволяє операторам контролювати роботу з безпечної відстані.

Це особливо корисно для виконання робіт на висоті та у важких умовах.

Моделі Brokk мають різну потужність, що дозволяє вибрати відповідну модель для конкретних завдань. Наприклад, для важких будівельних робіт використовують потужніші моделі з високою продуктивністю.

Системи забезпечують економію часу на важких та багатостадійних операціях, таких як різання, свердління та монтаж важких елементів.

Багато моделей Brokk мають низький рівень шуму та вібрацій, що важливо при роботах у житлових районах або в умовах, де потрібне дотримання санітарних норм.

Розглянемо приклади моделей Brokk, які можуть бути використані для фасадних робіт.

Brokk 110 - компактний та потужний, підходить для роботи у вузьких просторах. Може працювати зі свердлильними, різальними та монтажними інструментами.

Brokk 170 - забезпечує баланс між компактністю та потужністю, має більшу вантажопідйомність, підходить для монтажу та демонтажу.

Brokk 200/300 - більші моделі, які підходять для важких будівельних робіт з високою продуктивністю. Вони можуть використовуватися для монтажу крупних елементів фасаду.

Переваги для монтажу вентилязованих фасадів це економія часу на монтаж та демонтаж елементів завдяки потужності та точності.

Зниження трудовитрат завдяки можливості автоматизації рутинних робіт.

Безпека для робітників, які можуть керувати машинами дистанційно, уникаючи небезпечних умов.

Роботизовані системи Brokk можуть стати ефективним доповненням у монтажних роботах для вентилязованих фасадів, особливо на етапах кріплення, розміщення та різання матеріалів.

Розрахуємо зиск від використання роботизованих маніпуляторів для монтажу вентилязованого фасаду на площі 100 м² скористаємося наступними даними, що приведені нижче.

Список робіт, які будуть виконуватись роботизованою системою:

- монтаж кронштейнів;
- монтаж плит утеплювача та установка вітробар'єру;
- монтаж вертикальних напрямних, виставлення в проектне положення;

- монтаж віконно-дверних укосів (відливів з АКП без урахування фрезерування);

- монтаж облицювання (включно з порізкою).

Час виконання робіт бригадою без автоматизації. Використаємо дані з плану-графіку типової технологічної карти на монтаж вентилязованих фасадів:

- монтаж кронштейнів 24 (люд.-год);
- монтаж плит утеплювача та установка вітробар'єру 32 (люд.-год);
- монтаж вертикальних напрямних 16 (люд.-год);
- монтаж віконно-дверних укосів 16 (люд.-год);
- монтаж облицювання 32 (люд.-год).

Загальна трудомісткість для цих робіт: $24 + 32 + 16 + 16 + 32 = 120$ люд.-год.

Розрахунок витрат на оплату праці робітників (без автоматизації):

- Середній розряд робіт: 3.8
- Заробітна плата: 18000 грн на місяць.
- Місяць роботи (за нормативами): 22 робочих дні, 8 годин на день (тобто 176 годин).

Заробітна плата за годину:

$$18000 \text{ грн} / 176 \text{ годин} = 102.27 \text{ грн/год}$$

Загальні витрати на оплату праці (без автоматизації):

$$120 \text{ годин} \times 102.27 \text{ грн/год} = 12272.4 \text{ грн}$$

Витрати на оплату праці робітників при використанні автоматизованої системи: Зниження часу на 25% означає, що загальний час складе 90 годин.

Загальні витрати на оплату праці (з автоматизацією):

$$90 \text{ годин} \times 102.27 \text{ грн/год} = 9204.3 \text{ грн}$$

Вартість оренди роботизованої системи:

- Оренда: 1500 грн на день.
- Припустимо, що для виконання робіт за 90 годин (11 робочих змін по 8 годин) знадобиться 11 днів оренди.

Загальні витрати на оренду:

$$11 \text{ днів} \times 1500 \text{ грн/день} = 16500 \text{ грн}$$

Загальні витрати на оплату праці та оренду при використанні автоматизації:

$$9204.3 \text{ грн} + 16500 \text{ грн} = 25704.3 \text{ грн}$$

Економія: Витрати на оплату праці без автоматизації: 12272.4 грн.

Витрати з автоматизацією: 25704.3 грн.

Різниця:

$$25704.3 \text{ грн} - 12272.4 \text{ грн} = 13431.9 \text{ грн}$$

Висновок: при використанні автоматизованої системи витрати зростають на 13431.9 грн через вартість оренди роботизованої системи. Проте, це може призвести до підвищення продуктивності та звільнення робочої сили для інших завдань.

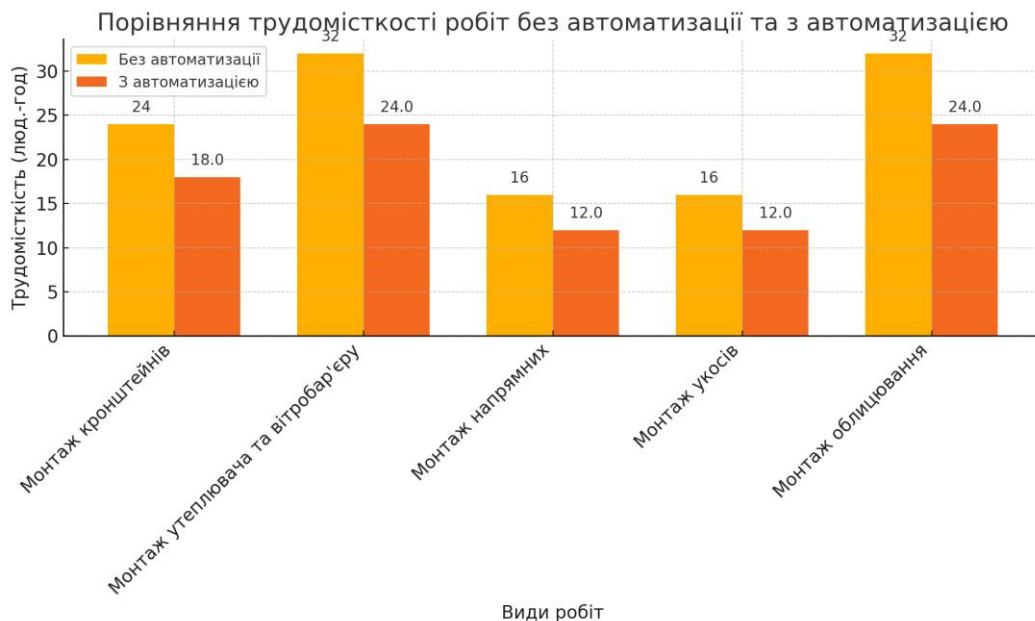


Рисунок 3.7 - Порівняння трудомісткості робіт для облаштування вентиляованого фасаду без автоматизації та з використанням роботизованих систем



Рисунок 3.8 - Порівняння фінансових витрат на виконання кожного виду робіт із використанням лише людської праці (без автоматизації) та з використанням роботизованих систем

З рисунку 3.8 помітно, що витрати при використанні автоматизації значно зростають, головним чином через оренду роботизованих маніпуляторів. Хоча автоматизація може скоротити час виконання завдань, додаткові витрати на оренду системи можуть зробити цей підхід менш економічно вигідним, особливо для робіт із меншою трудомісткістю.

ВИСНОВКИ

Аналіз видів фасадних конструкцій показав, що на сьогодні існує понад 20 різновидів конструктивних схем фасадного огородження.

Зовнішнє утеплення класифікується за:

- конфігурацією несучого каркаса,
- типом облицювальних матеріалів,
- способами кріплення зовнішнього шару.

Термічний опір різних варіантів навісних фасадів є подібним і залежить від умов експлуатації об'єкта.

Технологія монтажу фасадних елементів проста й зрозуміла, що є суттєвою перевагою.

Використання підвісних конструкцій дозволяє значно економити енергоресурси як для обігріву, так і для охолодження.

Основною причиною втрати теплотехнічних характеристик конструкції навісного фасадного утеплення є розкриття гідроізоляційного шару, що призводить до природного перезволоження теплоізоляції і її подальшого руйнування.

Мінераловатний утеплювач відповідає всім необхідним вимогам до теплоізоляційних матеріалів і має доступну ціну.

Технічні характеристики рідкої гуми дозволяють використовувати її як гідроізоляційний шар у навісних огорожувальних конструкціях.

Наявність повітряного прошарку є обов'язковою умовою для належної роботи та підвищення терміну служби вентильованих огорожень.

Вибір облицювальних матеріалів слід здійснювати з урахуванням типу будівлі, її поверховості та умов експлуатації.

Зроблено розрахунок опору теплопередачі огорожуючих конструкцій з використанням різних конструкцій, проведено аналіз можливого зменшення енерговитрат при використанні двох варіантів застосування навісних фасадів. Розрахунки показали не значну вдмінність у впливі на загальне

енергоспоживання будівлі, що свідчить про те що потрібно обирати матеріали у даному розглянутому випадку відповідно до меншої трудомісткості та ціни.

Використання роботизованих систем при монтажі елементів навісних вентилязованих фасадів може стати значним кроком у підвищенні ефективності та якості будівельних робіт та зменшенні загальної кількості помилок за рахунок загальної автоматизації основних робочих процесів. На основі аналізу переваг і витрат автоматизації можна зробити такі висновки.

Роботизовані системи можуть скоротити час виконання основних операцій на 20-30%, що прискорює загальний процес монтажу та знижує тривалість будівельного проєкту. Це особливо важливо для великих об'єктів з великими обсягами фасадних робіт.

Завдяки високій точності роботизованих маніпуляторів, зменшується ризик дефектів під час монтажу, таких як нерівномірне встановлення елементів фасаду або пошкодження матеріалів. Це сприяє підвищенню якості кінцевого результату та зменшенню необхідності у виправленні помилок.

Дистанційне керування роботизованими системами дозволяє працівникам уникати небезпечних умов роботи на висоті та важкодоступних місцях. Це знижує ризик травматизму та сприяє дотриманню вимог охорони праці.

Автоматизація рутинних і трудомістких завдань, таких як монтаж кронштейнів, напрямних і утеплювача, дозволяє вивільнити робочий персонал для виконання більш складних і точних робіт, що потребують людської участі, таких як оздоблювальні роботи.

Роботизовані системи, такі як Brokk, мають значний потенціал для використання в монтажі навісних вентилязованих фасадів, особливо на великих об'єктах, де економія часу може компенсувати витрати на оренду. Їх застосування сприяє підвищенню безпеки, оптимізації трудових ресурсів та покращенню якості виконання робіт. Однак для менших або менш типових проєктів високі витрати на оренду та обслуговування можуть знижувати економічну доцільність роботизації.

Загалом, роботизовані системи ефективно доповнюють традиційні методи монтажу навісних фасадів, особливо в умовах, що вимагають точності, безпеки та високої продуктивності.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Інтернет посилання на офіційний сайт Sto-ukraine. URL: <https://sto-ukraine.com/sto-therm-classic-antyvandalna-systema/> (Дата звернення: 18.10.2024).
2. Brown, ER Ventilating facades from South Africa / ER Brown // Buildotech Magazine. – 2016. – №4. - с. 87-101
3. Теоретичні засади та загальна концепція енергоефективного будівництва / О.І. Ободянська, Р.І. Пономаров // науково-технічна конференція ФБТЕГП ВНТУ (Електронне наукове видання матеріалів конференції, м. Вінниця, 2021. – Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fbtegp/all-fbtegp-2021/paper/view/11845>.
4. Інноваційні технології для внутрішнього утеплення будівель / О.І. Ободянська, І.О. Забіяка, В.В. Грибик // науковотехнічна конференція ФБТЕГП ВНТУ (Електронне наукове видання матеріалів конференції, м. Вінниця, 2021. – Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fbtegp/all-fbtegp-2021/paper/view/11925>.
5. Енергоефективні будинки та споруди / О.І. Ободянська, В.В. Грибик, А.Я. Панченко // Міжнародна науково-технічна конференція «Енергоефективність в галузях економіки України» (Електронне наукове видання матеріалів конференції, м. Вінниця, 2021. – Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/egcu/egcu2021/paper/view/14058>.
6. Hao X. Analysis on the application of thermal insulation and energy saving construction technology in building exterior wall construction (in Chinese). Urban Construction Theory Research (Electronic Edition) 2019; (13): 100.
7. Chen J. Application of exterior wall insulation materials from the perspective of green building energy efficiency (in Chinese). China Interior Decoration World 2019; (24): 82.
8. Li Q. Application of vitrified beads, a new external thermal insulation material, in green buildings (in Chinese). Housing and Real Estate 2018; (8): 129.

9. Yasuhara, A. (2017, March 16). Japan's labor-scarce building sites automating, turning to robots, drones. Retrieved from The Japan Times: http://www.japantimes.co.jp/news/2017/03/16/business/tech/japans-labor-scarce-building-sites-automating-turning-robots-drones/#.WSxW_8YlGUk
10. Biseniece, E.; Freimanis, R.; Purvins, R.; Gravelins, A.; Pumpurs, A.; Blumberga, A. Study of Hygrothermal Processes in External Walls with Internal Insulation. *Environ. Clim. Technol.* 2018, 22, 22–41. [CrossRef]
11. Biseniece, E.; Žogla, G.; Kamenders, A.; Purvin, š, R.; Kašs, K.; Vanaga, R.; Blumberga, A. Thermal performance of internally insulated historic brick building in cold climate: A long term case study. *Energy Build.* 2017, 152, 577–586. [CrossRef]
12. Klōšeiko, P.; Arumägi, E.; Kalamees, T. Hygrothermal performance of internally insulated brick wall in cold climate: A case study in a historical school building. *J. Build. Phys.* 2015, 38, 444–464. [CrossRef]
13. Grunewald, J.; Ruisinger, U.; Häupl, P. The Rijksmuseum Amsterdam—Hygrothermal analysis and dimensioning of thermal insulation. In *Proceedings of the 3rd International Conference in Building Physics—Research in Building Physics and Building Engineering*, Montreal, QC, Canada, 27–31 August 2006; pp. 345–352.
14. Scheffler, G.; Grunewald, J. Material development and optimisation supported by numerical simulation for a capillary-active inside insulation material. In *Research in Building Physics*; CRC Press: Boca Raton, FL, USA, 2003; pp. 77–85
15. De Mets, T.; Tilmans, A.; Loncour, X. Hygrothermal assessment of internal insulation systems of brick walls through numerical simulation and full-scale laboratory testing. *Energy Procedia* 2017, 132, 753–758. [CrossRef]
16. Cornet: In2eurobuild—Consistent European Guidelines for Internal Insulation of Building Stock and HeritaGE. Available online: https://wufi.de/de/wp-content/uploads/sites/9/In2EuroBuild_Guideline-II_Internal-Insulation.pdf (accessed on 6 September 2023).

17. Bottino-Leone, D.; Larcher, M.; Herrera-Avellanosa, D.; Haas, F.; Troi, A. Evaluation of natural-based internal insulation systems in historic buildings through a holistic approach. *Energy* 2019, 181, 521–531. [CrossRef]
18. Johansson, P.; Geving, S.; Hagentoft, C.E.; Jelle, B.P.; Rognvik, E.; Kalagasidis, A.S.; Time, B. Interior insulation retrofit of a historical brick wall using vacuum insulation panels: Hygrothermal numerical simulations and laboratory investigations. *Build. Environ.* 2014, 79, 31–45. [CrossRef]
19. Straube, J.; Schumacher, C. Interior Insulation Retrofits of Load-Bearing Masonry Walls in Cold Climates. *J. Green Build.* 2007, 2, 42–50. [CrossRef]
20. Morelli, M.; Svendsen, S. Investigation of interior post-insulated masonry walls with wooden beam ends. *J. Build. Phys.* 2013, 36, 265–293. [CrossRef]
21. Nielsen, A.; Møller, E.B.; Rasmussen, T.V.; Jan de Place, E. Use of sensitivity analysis to evaluate hygrothermal conditions in solid brick walls with interior insulation. In *Proceedings of the 5th International Building Physics Conference (IBPC)*, Kyoto, Japan, 28–31 May 2012; pp. 377–384.
22. Pachon, A. G. (n.d.). *Construction Site Automation: guidelines for analyzing its feasibility, benefits and drawbacks*. Munich: Department of Architecture, Building Realization and Robotics Lab, Technical University Munich.
23. Attachment spotlight: the Brokk Vacuum Excavator. Інтернет посилання. URL: <https://www.brokk.com/news/articles/attachment-spotlight-the-brokk-vacuum-excavator/> (Дата звернення 05.11.2024)
24. Технологічна карта. Системи навісних вентилязованих фасадів KMD VF для облицювання HPL панелями Crown. Інтернет посилання. URL: <https://ukrfasadbud.kiev.ua/assets/images/katalogi/katalogi-fasady/Tehkarta-HPL-Crown.pdf> (Дата звернення 05.11.2024)