

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
імені Ю.М. ПОТЕБНИ

КАФЕДРА МІСЬКОГО БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ
(повна назва кафедри)

Кваліфікаційна робота (проект)

магістр

(рівень вищої освіти)

на тему Підвищення енергетичної ефективності виробничих будівель

Виконав: студент 2 курсу, групи 8.1922-мбг-дн
спеціальності 192 Будівництво та цивільна
інженерія

(код і назва спеціальності)

освітньої програми Міське будівництво та
господарство

(назва освітньої програми)

Лушніков О.С.

(ініціали та прізвище)

Керівник проф., д.т.н, Банах В.А.

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Рецензент доц., к.т.н, Банах А. В.

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

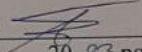
Запоріжжя
2024

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
імені Ю.М. ПОТЕБНИ

Кафедра міського будівництва і архітектури
Рівень вищої освіти магістр
Спеціальність 192 Будівництво та цивільна інженерія
(код та назва)
Освітня програма Міське будівництво та господарство

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри 
« 10 » 10 2023 року

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ (ПРОЄКТ) СТУДЕНТОВІ (СТУДЕНТЦІ)

Лушнікову Олександрю Сергійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

Тема роботи (проєкту) Підвищення енергетичної ефективності виробничих будівель

керівник роботи проф. д.т.н. Банах В.А.


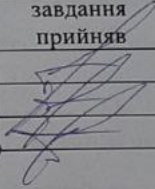
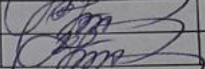
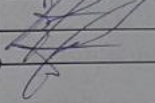
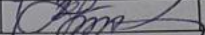

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ЗНУ від « 09 » 10 2023 року № 1578-с

- 1 Строк подання студентом роботи 01.03.2024
- 2 Вихідні дані до роботи Актуальність обраного напрямку досліджень, значимість у сучасному житті, можливість розвинення проблематики, перспективи впровадження майбутніх досягнень, мета роботи, завдання до виконання обраних досліджень, об'єкт досліджень, предмет досліджень, передбачувані методи виконання досліджень
- 3 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Літературний огляд. Аналіз підвищення енергоефективності промислових будівель. Порівняльний аналіз прикладів підвищення енергоефективності будівель такого типу, існуючих на сучасному ринку і зарубіжний досвід.

4 Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) Презентація із результатами аналітичних обґрунтувань наукового напрямку досліджень, результатами експериментальних досліджень, результати розрахунків із застосуванням сучасних інформаційних методів досліджень

5 Консультанти розділів роботи

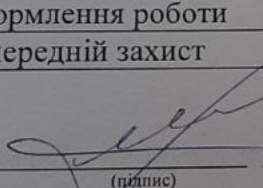
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Банах В.А.		
2	Банах В.А.		
3	Банах В.А.		

6 Дата видачі завдання 01.09.2023

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Літературний огляд	01.01	<i>Викон.</i>
2	Розділ 1	15.01	<i>Викон.</i>
3	Розділ 2	01.02	<i>Викон.</i>
4	Розділ 3	15.02	<i>Викон.</i>
5	Розробка графічної частини	20.02	<i>Викон.</i>
6	Оформлення роботи	25.02	<i>Викон.</i>
7	Попередній захист	01.03	<i>Викон.</i>

Студент

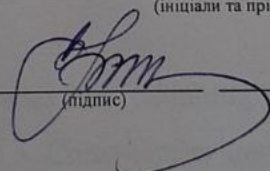


(підпис)

Лушніков О.С.

(ініціали та прізвище)

Керівник роботи (проекту)



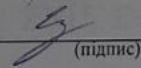
(підпис)

Банах В.А.

(ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер



(підпис)

Гребенюк І.В.

(ініціали та прізвище)

АНОТАЦІЯ

Лушніков Олександр Сергійович. Підвищення енергетичної ефективності виробничих будівель.

Кваліфікаційна випускна робота для здобуття ступеня вищої освіти магістра за спеціальністю 192 - Будівництво та цивільна інженерія, науковий керівник В.А. Банах.. Інженерний навчально-науковий інститут імені Ю.М. Потебні ЗНУ, кафедра міського будівництва і архітектури, 2024.

У роботі розглядаються основні способи, підвищення енергоефективності промислових будівель. Наводиться порівняльний аналіз прикладів підвищення енергоефективності будівель такого типу, існуючих на сучасному ринку і зарубіжний досвід.

Ключові слова: ПРОМИСЛОВИХ БУДІВЕЛЬ, РЕКОНСТРУКЦІЯ ПРОМИСЛОВИХ БУДІВЕЛЬ, АНАЛІЗ РЕКОНСТРУЙОВАНИХ БУДІВЕЛЬ, ІСТОРИЧНІ ПРОМИСЛОВІ БУДІВЛІ, РЕКОНСТРУКЦІЯ, СЕНДВІЧ ПАНЕЛЬ, ТЕПЛОВИЙ ПОТІК.

ABSTRACT

Oleksandr Serhiyovych Lushnikov. Increasing the energy efficiency of industrial buildings.

Qualifying graduation thesis for obtaining a master's degree of higher education in the specialty 192 - Construction and civil engineering, academic supervisor V.A. Banach. Engineering Educational and Scientific Institute named after U.M. Potebny ZNU, Department of Urban Construction and Architecture, 2024.

The work considers the main methods of increasing the energy efficiency of industrial buildings. A comparative analysis of examples of increasing the energy efficiency of buildings of this type existing on the modern market and foreign experience is presented.

Key words: INDUSTRIAL BUILDINGS, RECONSTRUCTION OF INDUSTRIAL BUILDINGS, ANALYSIS OF RECONSTRUCTED BUILDINGS, HISTORICAL INDUSTRIAL BUILDINGS, RECONSTRUCTION, SANDWICH PANEL, HEAT FLOW.

ЗМІСТ

	Вступ	7
Розділ 1	Реконструкція виробничих будівель	9
1.1	Перспективи реконструкції виробничих будівель	9
1.2	Сучасні стінові матеріали	13
1.3	Системи фасадної теплоізоляції будівель	26
1.3.1	Класифікація систем фасадної теплоізоляції	26
1.3.2	Теплоізоляційні матеріали	27
1.3.3	Фасадні системи з утеплювачем зовні огороджувальної конструкції	31
1.3.4	Системи з утеплювачем із внутрішньої сторони огороджувальної конструкції	47
1.3.5	Системи з утеплювачем усередині огороджувальної конструкції	50
1.4	Сэндвич-панелі у будівництві і реконструкції будівель	61
1.5	Висновки по розділу	63
Розділ 2	Методи дослідження	64
2.1	Теплообмін у повітряному прошарку кріплення сэндвіч	64
2.2	Математична модель	66
2.3	Умови однозначності	68
2.4	Висновки по розділу	73
Розділ 3	Результати чисельного дослідження	75
3.1	Температурні характеристики	75
3.2	Порівняльний аналіз	81
3.3	Сэндвіч-панелі та протипожежна безпека	82
3.4	Висновки по розділу	90
	Основні висновки	91
	Список використаних джерел	93

ВСТУП

Актуальність теми. Огороджувальні конструкції виробничих будівель, збудовані за радянських часів, не відповідають сучасним нормам енергетичної ефективності, а також будівлі мають велике зношення і потребують реконструкції.

Застосування енергозберігаючих методів, технологій та матеріалів при новому будівництві та реконструкції можна вважати одним із пріоритетних напрямів сучасного розвитку будівельної індустрії. Найбільш ефективним заходом щодо зниження втрат теплової енергії в промислових будівлях є покращення теплозахисних характеристик конструкцій, що захищають.

Мета та завдання дослідження. Метою роботи є аналіз методики техніко-економічної оцінки застосування зовнішніх конструкцій виробничих будівель, що підлягають капітальним ремонтам та реконструкції.

Об'єкт дослідження. Огороджувальні конструкції виробничих будівель.

Предмет дослідження. Досвід реконструкції та капітального ремонту, основні тенденції застосування огороджувальних конструкцій промислових будівель.

Методи дослідження. При вирішенні поставлених завдань використовувалися узагальнення та аналіз теоретичних та практичних досліджень на тему роботи. Системний підхід є методологічною основою всього дослідження та використовується для вирішення більшості поставлених завдань. Аналіз та моделювання використані при виконанні розрахунків.

Наукова новизна одержаних результатів. Робота виконувалася виходячи з можливості її адаптації до застосування у європейських країнах.

Практичне значення одержаних результатів. Проведено огляд нормативних вимог та рекомендацій щодо реконструкції та капітального ремонту огороджувальні конструкції виробничих будівель. В результаті було

розроблено пропозиції щодо техніко-економічної оцінки огорожувальних конструкцій.

Особистий внесок дослідника. Постановки мети та завдання дослідження. Збір та аналіз даних для проведення дослідження.

Апробація результатів роботи. Результати роботи докладалися на III Всеукраїнської науково-практичної конференції за участю молодих науковців «Актуальні питання сталого науково-технічного та соціально-економічного розвитку регіонів України» з доповіддю «Перспективи реконструкції виробничих будівель»[58].

Структура та обсяг магістерської роботи. Магістерська робота складається з вступу, трьох розділів, основних висновків, списку використаних джерел містить 98 сторінок, 43 рисунки, 5 таблиць, 58 список використаних джерел.

РОЗДІЛ 1

РЕКОНСТРУКЦІЯ ВИРОБНИЧИХ БУДІВЕЛЬ

1.1. Перспективи реконструкції виробничих будівель

Одні з найпоширеніших мотивів реконструкції виробничих будівель - це їх природне зношування, яке може бути як фізичним, так і моральним. Під впливом навколишнього середовища фасади будівель поступово пошкоджуються, що призводить до втрати теплоізоляції та вразливості конструкцій.

Моральне зношування - це ще один значний фактор, який стосується безлічі виробничих будівель по всій країні. Технології виробництва та застосоване устаткування застарівають, що призводить до необхідності змін. Не лише самі будівлі, а й виробничі процеси стають застарілими. Часто для впровадження нових технологій необхідно проводити реконструкцію будівель, оскільки нове устаткування може потребувати змін в структурі споруд, включаючи розширення отворів та посилення фундаментів

Багато промислових споруд перебувають в експлуатації протягом понад 45 років і майже не отримують відповідного обслуговування. Керівництво заводів рідко інвестує кошти у збереження таких будівель. Це може призвести до пошкодження огорожувальних конструкцій.

Однак існують інші мотиви, які не пов'язані з негативним зношенням:

- розширення виробничої бази;
- впровадження масштабних оновлень або зміни напрямку виробництва.

Своєчасна реконструкція виробничих будівель дозволяє підприємствам розширювати виробництво, підвищувати конкурентоспроможність та, часто, знижувати вартість продукції, що виготовляється. Це сприяє більш впевненому позиціонуванню на ринку.

Реконструкція виробничих будівель зазвичай пов'язана з розширенням виробництва, модернізацією технологічних процесів та встановленням

нового, більш сучасного обладнання. Це вимагає значних витрат часу, матеріалів і праці.

Основні задачі, що виникають при реконструкції виробничих підприємств, включають збільшення прольотів за рахунок видалення проміжних опор, підвищення висоти цехів, приміщень і перекриттів для забезпечення необхідної несучої здатності у зв'язку зі зростанням технологічних навантажень тощо.

Під час проведення робіт з реконструкції важливо враховувати обмеженість умов, насиченість діючим технологічним обладнанням, наявність інженерних мереж і комунікацій, а також підвищену вибухо- та пожежну небезпеку.

При реконструкції виробничих підприємств важливо використовувати компактне обладнання та інструменти, такі як малогабаритні навантажувачі з навісним змінним обладнанням, малі екскаватори, гідравлічні установки для підймання конструкцій, обладнання для вдавлювання паль, руйнування стін та фундаментів, а також установки для свердління отворів у залізобетонних конструкціях тощо.

Під час реконструкції важливо максимально використовувати існуючі конструкції, які відповідають новим умовам експлуатації за міцнісними та деформативними характеристиками. Необхідно знижувати додаткові навантаження на основу, фундаменти та існуючі несучі конструкції, застосовуючи конструкції покриття з легких сплавів, легкобетонних елементів, ефективних утеплювачів тощо.

Реконструкція виробничих підприємств повинна вирішувати не лише технологічні завдання, але й соціально-економічні питання, такі як удосконалення умов праці, оптимізація виробничих процесів та підвищення продуктивності праці. Також важливо уникати зайвого будівництва додаткових будівель, збільшувати виробничу потужність та впроваджувати екологічно чисті технології.

Реконструкція виробничих підприємств з безперервним виробничим циклом має свої виклики, оскільки технологія виробництва суттєво впливає на хід будівельно-монтажних робіт. Непродуктивні витрати часу збільшуються в 1.5-2 рази порівняно з новим будівництвом, що призводить до зниження продуктивності праці будівельників на 20-30% і збільшення простоїв робітників у 1.5-2 рази. З цим урахуванням, підготовка будівельного процесу на кожному етапі реконструкції повинна бути детально спланована і адаптована до існуючої технології виробництва та режиму роботи підприємства.

Зокрема, роботи можуть передбачати зупинку окремих ділянок, таких як цехи, для виконання певних видів робіт. Проте ця зупинка може відбутися лише за умови повного забезпечення будівельно-монтажних робіт необхідними матеріально-технічними ресурсами та механізмами з метою скорочення простою на виробництві.

При проведенні реконструкції у діючих цехах необхідно ретельний нагляд з боку інженерно-технічного персоналу як замовника, так і наглядових органів. Також важливо забезпечити міцність та стійкість конструкцій, збережених та демонтованих, а також забезпечити безпеку транспортування будівельних матеріалів та розробити заходи для безпечної спільної роботи різних спеціалізованих підрозділів та існуючого виробництва.

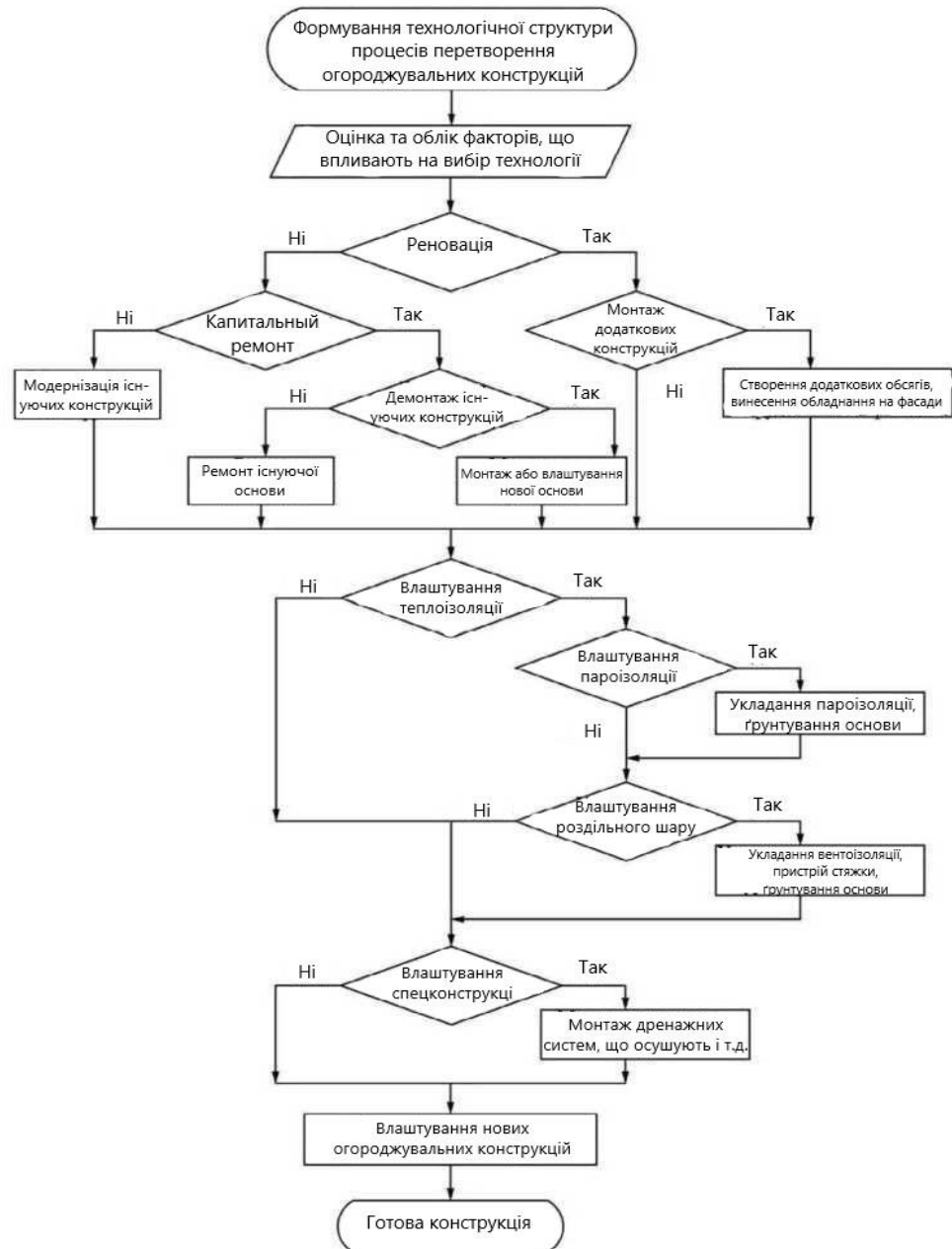


Рисунок 1.1 - Формування технологічної структури процесів перетворення огорожувальних конструкцій

1.2. Сучасні стінові матеріали

За родом матеріалу стіни можуть бути кам'яними, бетонними, залізобетонними, дерев'яними, з місцевих будівельних матеріалів, комбінованими. Стіни по конструкції та способу зведення діляться на стіни з штучних матеріалів, монолітні та великопанельні. У даній дослідницькій

роботі докладно розглядаються стінові конструкції з каменю, блоків, монолітні та великопанельні.

Одним з найпоширеніших матеріалів, що використовується при зведенні будівель та споруді, є цегла. Велика практика застосування цеглини дозволяє незаперечно віднести його до категорії найбільш довговічних будівельних матеріалів.

Цегла, завдяки своїм властивостям, забезпечує ефективний захист від впливу зовнішніх факторів навколишнього середовища. Вона володіє високою вогнестійкістю та низькою теплопровідністю, а також здатністю накопичувати сонячну енергію і повільно, рівномірно віддавати тепло. Ці характеристики роблять цегляну стіну ефективною у підтримці комфортної температури в приміщенні, запобігаючи перегріванню влітку та зберігаючи тепло взимку. Крім того, цегляна стіна дозволяє випаровування крізь свій матеріал, що допомагає підтримувати оптимальний рівень вологості у приміщенні.

Розрізняють цегла керамічна, виготовлена на основі випалу глиняної сировини, і силікатна цегла, виготовлена без застосування випалу за спеціальною технологією.

Керамічна цегла виготовляється шляхом випалу пресованих глиняних брикетів, які містять глину, пісок та, за необхідності, інші домішки. Якість добре обпаленої керамічної цегли характеризується рівномірним червоним кольором та видаванням дзвінкого, чистого звуку при ударі. В той час як перепалена цегла може мати чорну серцевину або оплавлені краї, що робить її непридатною для багатьох видів будівельних робіт і придатною лише для кладки фундаментів.

Силікатну цеглу отримують методом напівсухого пресування брикетів із суміші кварцового піску, повітряного вапна та води з подальшою обробкою в автоклаві - впливають на нього пором з високою температурою та тиском. Багато років у нашій країні силікатна цегла вироблялася біло-сірого кольору, яку він набував за рахунок своєї основної складової -

дробленого кварцу. Тому, якщо під руку потрапила цегла білого кольору, можна було майже не сумніватися - вона силікатна. Зараз силікатна цегла завдяки доданню барвників виробляють практично будь-якого кольору – колір залежить лише від кольору барвника. Можна побачити силікатну цеглу блакитного та зеленого, у тому числі й червоного кольорів.

Технологію виготовлення цегли можна визначити шляхом її зламу. Керамічна цегла має характерну для кераміки структуру при зламі, тоді як силікатна цегла має більш м'яку, «сипку» структуру.

Зазвичай, повнотіла керамічна цегла використовується для зведення несучих стін, склепінь, опорних колон, фундаментів та інших сильно навантажених конструкцій будівель. Силікатна цегла, у свою чергу, частіше використовується тільки для кладки стін і перегородок і не рекомендується для застосування в фундаментах, цоколях, печах, камінах, трубах та інших відповідальних конструкціях. Він більш м'який і менш міцний у порівнянні з червоною, але, в порівнянні зі звичайною керамічною цеглою, має більш високі звукоізоляційні показники. Повнотіла цегла містить 8-15% технологічних порожнин (менше 13% за ДСТУ Б В.2.7 –61:2008), має щільність понад 1600 кг/м^3 та забезпечує максимальну міцність цегляної кладки.

Також доступна пустотіла цегла, яка має круглі або прямокутні отвори через всю її товщину. Вміст цих порожнин зазвичай становить 20-45%, що значно зменшує вагу і теплопровідність цегли порівняно з повнотілою. Об'ємна щільність такої цегли зазвичай не перевищує 1500 кг/м^3 . Особливу увагу можна приділити надлегкій цеглі з порами, яку виробляє компанія "KNAUFF", що має щільність менше 950 кг/м^3 . Ця цегла відрізняється найменшою теплопровідністю серед подібних матеріалів та не поглинає воду. Пустотіла цегла застосовується для зведення зовнішніх стін з підвищеною теплоізоляцією, а також для внутрішніх перегородок і стін.

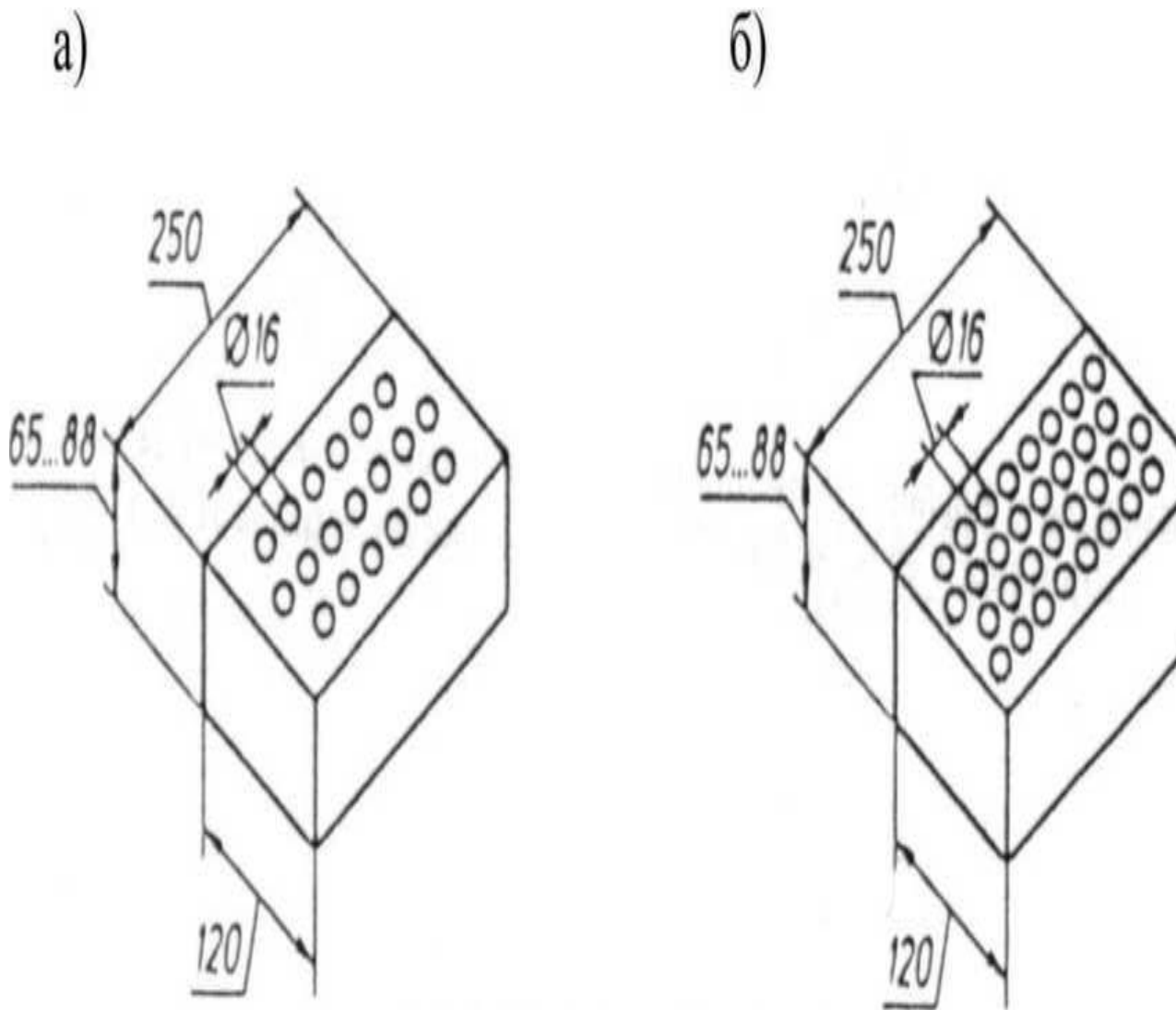


Рисунок 1.2 - Зовнішній вигляд цегли та її розміри: а) - цегла з 19 порожнинами (порожнотність 13%); б) - цегла з 32 порожнинами (порожнотність 22%)

Розроблена декоративна цегла для кладки зовнішніх і внутрішніх стін відрізняється правильною формою та рівною, блискучою поверхнею. Використання такої цегли, яку називають «фасадною» або «лицьовою», дозволяє створювати чудові зовнішні стіни, а також застосовувати її всередині приміщень без потреби в подальшій обробці стін.

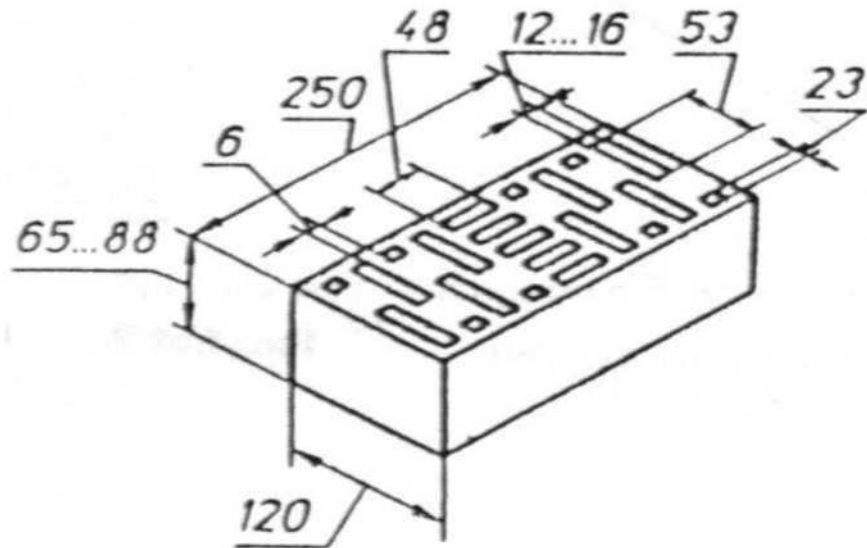


Рисунок 1.3 - Цегла з 21 пустотами (пустотність 34%, 45%)

Також до групи матеріалів для облицювання можна віднести фасонну (фігурну) цеглу. Заводи - виробники пропонують фасонну цеглу зі зрізаним кутом, із закругленим кутом, кутову цеглу, цеглу для обрамлення віконних отворів, арок, для влаштування підвіконь і т.д. Застосування фасонної цеглини дозволяє уникнути трудомістких операцій з різання звичайної лицьової цегли і надає архітекторам додаткові можливості декорування.

Керамічний камінь відомий з часів Римської Імперії та широко використовується і в наш час. Зумовлено це тим, що керамічний камінь так само красивий, як і стійок. Ніщо не говорить про переваги керамічного каменю переконливіше, ніж століття використання його в будівництві.

На українському ринку останнім часом зустрічаються керамічна цегла та каміння виробництва деяких зарубіжних фірм (OPTIROC, KELLER, TILERI та SALVESEN BRICK). На рисунках нижче зображено керамічні вироби зазначених фірм-виробників.

За щільністю в сухому стані цегла та каміння поділяються на прості, умовно-ефективні та ефективні. Застосування ефективних керамічних виробів дає можливість істотно скоротити матеріаломісткість конструкцій,

що захищають, зменшити товщину зовнішніх стін і навантаження на фундамент, що дуже важливо при реконструкції виробничих будівель.

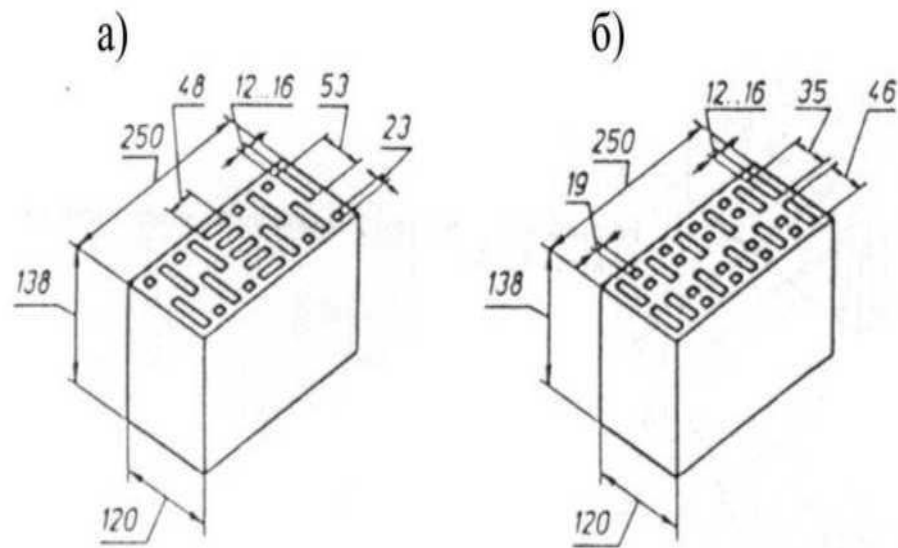


Рисунок 1.4 - Зовнішній вигляд керамічного каменю та його розміри: а) - камінь із 21 пустотами (пустотність 32 %, 42 %); б) - камінь з 28 пустотами (пустотність 34%, 45%)



Рисунок 1.5 - Керамічна та силікатна цегла фірми OPTIROC (Фінляндія)

Можна віднести до нового покоління пористих керамічних стінових матеріалів великоформатні керамічні цегли 16 НФ розміром 511x250x218 мм, щільністю 780 кг/м³, з пустотністю 50 -54% і теплопровідністю 0,18-0,22 Вт/моС на заводі "KNAUFF".

Такий камінь перевищує за розмірами стандартну цеглу в 16 разів.

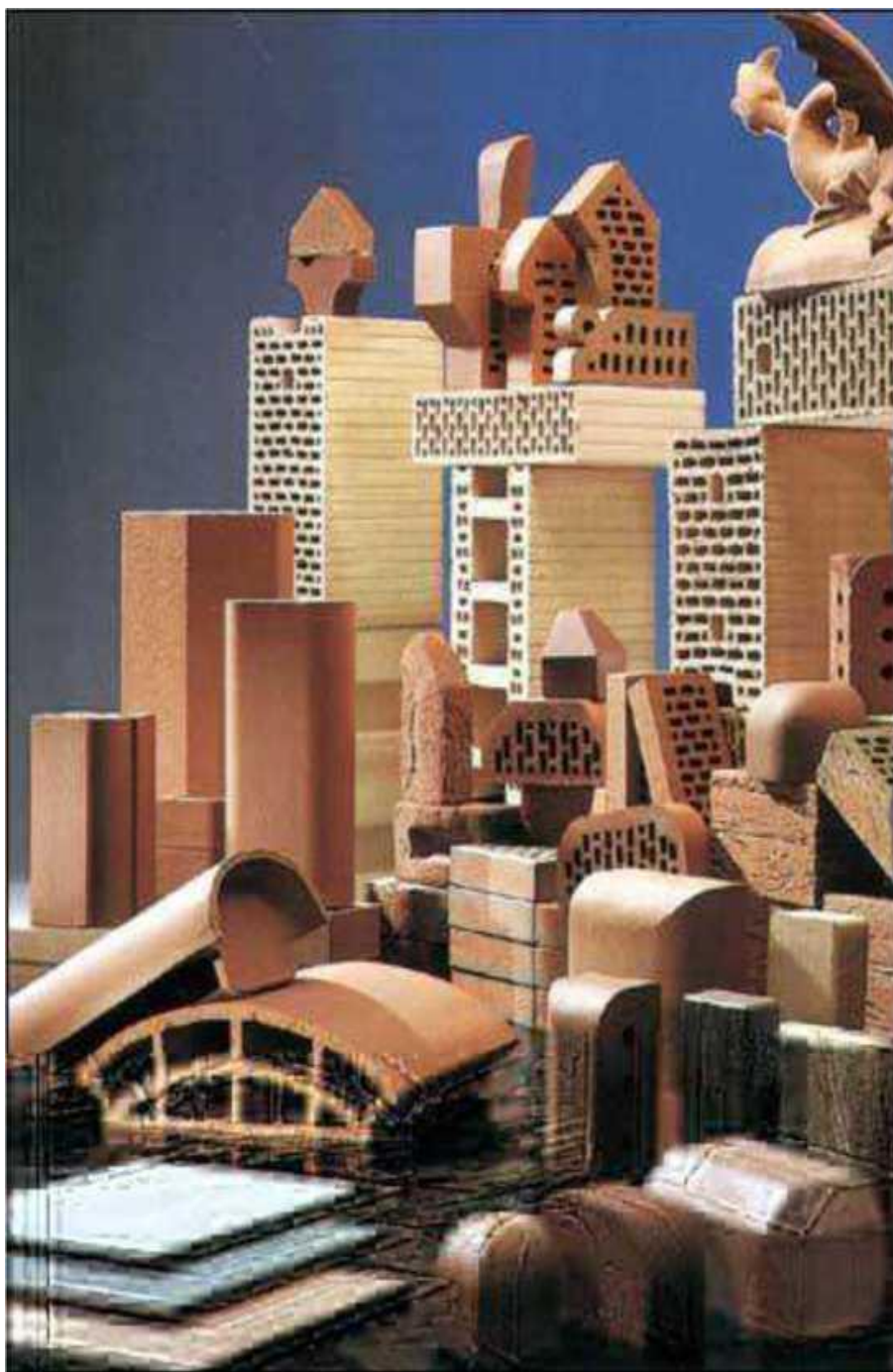


Рисунок 1.6 - Керамічні вироби фірми KELLER

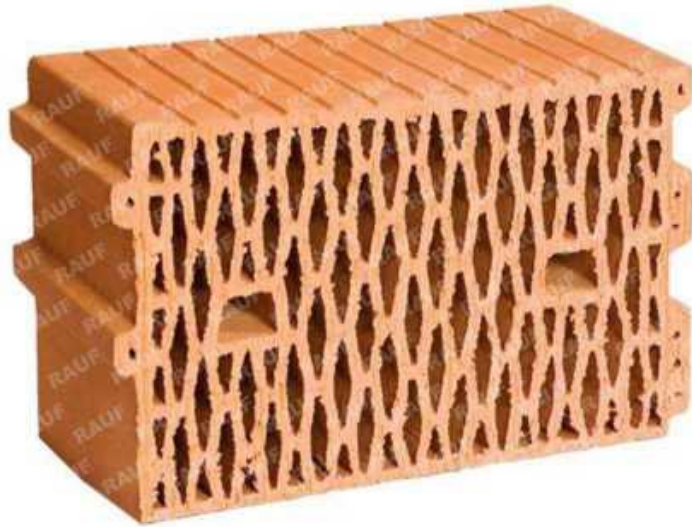


Рисунок 1.7 - Порізований великоформатний камінь «KNAUFF»

Благодаря наявності у великоформатного каміння пазів і гребенів, які забезпечують необхідну герметичність стиків, не потрібно заповнювати вертикальні шви розчином. Кладка з великоформатного каміння зменшує кількість швів у кілька разів і значно економить розчин для кладки. Вартість зведення 1 м² зовнішньої стіни становить на 10-20% менше, ніж у випадку стін із традиційної керамічної продукції.

Керамічні великоформатні камені застосовують для кладки самонесучих та внутрішніх стін промислових будівель, для заповнення каркасів.

Матеріал нового покоління будівельних матеріалів - некерамічна надтепла цегла «Термолюкс». Особливість його полягає в тому, що при відмінних теплоізоляційних якостях він має міцність, достатню для будівництва 9-поверхових будівель. Цегла «Термолюкс» створена за принципом термоса. Цегла «розрізана» п'ятьма повітряними прошарками,

перемички, що служать для збереження міцності, розташовані у вигляді лабіринту, що дозволяє уникнути «містків холоду».

"Термолюкс" виготовляється з легкого, пористого і в той же час міцного матеріалу і щільність його при 25% порожнечі становить 900-1000 кг/м³. Мала щільність цегли зменшує навантаження на фундаменти, витрати на транспортування та вантажопідйомні механізми. Верхня постіль цегли є суцільною, і це не дозволяє розчину провалюватися всередину порожнин, завдяки чому зберігаються його теплотехнічні властивості та економиться розчин.

Крім перерахованих вище, до нових штучних стінових матеріалів можна віднести пінокерамічні блоки «Керпен», які виготовляються з крем'янистих порід (трепелу, опоки, діатоміту), піноутворювача, стабілізатора піни та активуючих добавок. Формовані блоки «Геокар» виготовляються на основі торфу та деревного наповнювача з подальшою тепловою обробкою.

Бетон – один з основних матеріалів, що застосовуються у будівництві. Головною перевагою застосування бетону для будівельних виробів, з техніко-економічної точки зору, є використання місцевих будівельних матеріалів, а отже, зниження витрат на виробництво та виготовлення. Бетон - довговічний і вогнестійкий, залежно від необхідних умов застосування можна варіювати такі характеристики, як міцність і щільність. З бетонної суміші при відповідній обробці можна виготовити вироби будь-якої необхідної форми, наприклад, стінові блоки - повнотілі та порожнисті, лицьові та рядові.

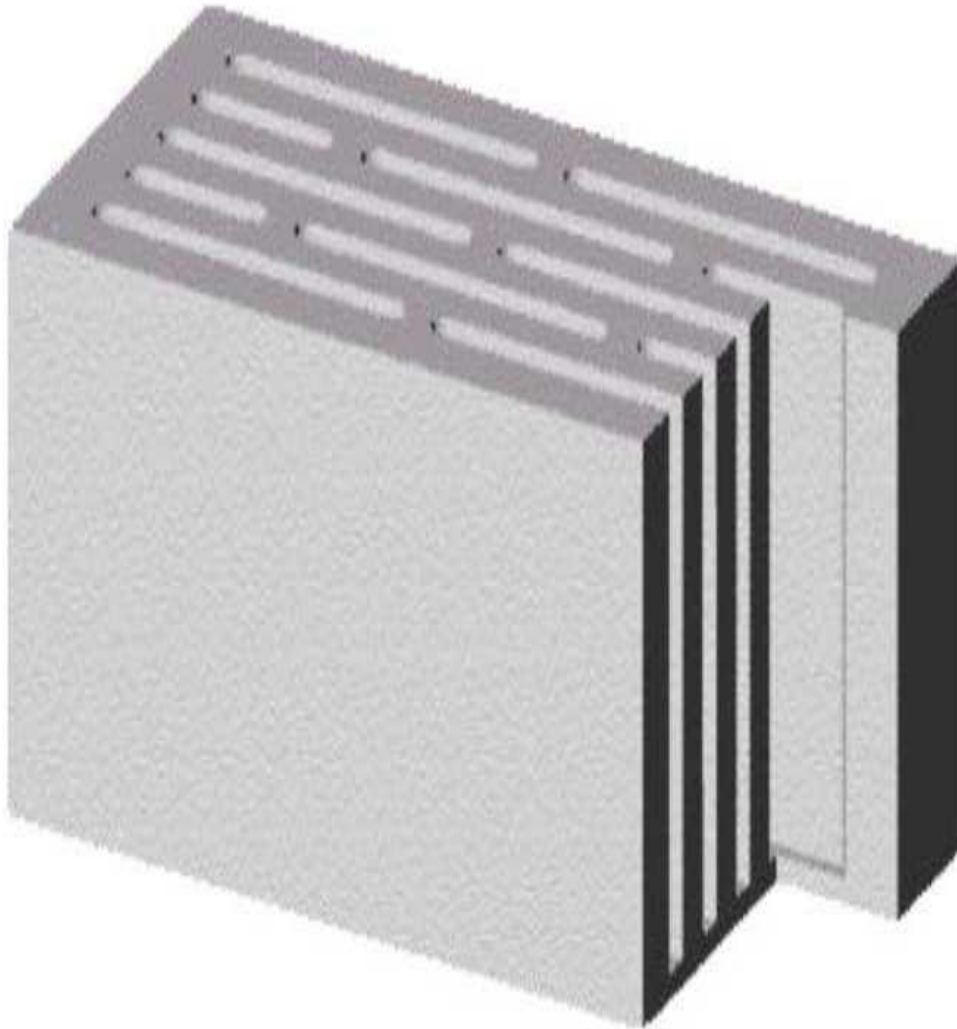


Рисунок 1.8 - Некерамічна надтепла цегла «Термолюкс»

Згідно зі стандартом ДСТУ Б EN 771-3:2016, стінні камені (блоки) можуть бути виготовлені звичайного важкого або легкого бетону з використанням пористих заповнювачів.

Блоки з важкого бетону мають високу вантажопідйомність, але недостатньо ефективні у тепло- та звукоізоляції. Вони виробляються у багатьох виробничих підприємствах.



Рисунок 1.9 - Стінові блоки з важких бетонів

Комірчастий бетон є відносно новим матеріалом, збагаченим замкнутими порами діаметром 1-2 мм, що заповнені повітрям, утворюючи комірочки. Ця унікальна структура призводить до високих фізико-механічних властивостей цього матеріалу, роблячи його ефективним у будівництві. Теплоізоляційні властивості комірчастого бетону перевищують ті, що має цегла, у 2-3 рази.

Стіна з цього матеріалу "дихає", створюючи в приміщенні ідеальний мікроклімат. Комірчастий бетон не горить, є екологічно чистим та пожежобезпечним матеріалом. Зовні він нагадує пемзу. До переваг пористого бетону належить його хороша оброблюваність найпростішими

інструментами. За призначенням пористі бетони поділяються на три групи: конструкційні, конструкційно-теплоізоляційні та теплоізоляційні. Серед блоків із пористих бетонів найбільшого поширення набули пінобетонні та газобетонні блоки.

Пінобетон виготовляється з цементу, піску, води та піноутворювача. Матеріал є морозостійким, негорючим, не руйнується від впливу високої температури, має гарні звуко- та теплоізоляційні властивості та малу вагу. Виробництво пінобетону досить просте, тому виробники пінобетону є практично у всіх регіонах України. Пінобетонні блоки застосовуються як огорожувальні конструкції в каркасних будинках, а також як термовкладиші в конструкціях багатоповерхових житлових будинків. Газобетон - одержують із в'язучого (цементу, вапна), кварцового піску, води, з додаванням газоутворюючих речовин.

Газобетон має властивість поглинати вологу з повітря при підвищеній вологості і віддавати її при зниженій вологості, є морозостійким та екологічно чистим будівельним матеріалом. Газобетон негорючий, не руйнується від впливу високої температури та перешкоджає поширенню вогню. Технологію виробництва газобетону розробила німецька фірма Hebel. В даний час в Україні дана технологія набула вже досить широкого поширення. Газобетонні блоки мають точні геометричні розміри та гладку поверхню, що дозволяє вести кладку на спеціальному мінеральному клеї. Стінові газобетонні блоки випускаються двох типів: гладкі та з пазом/гребнем, що полегшує кладку. Застосовують їх при облаштуванні комбінованих стін у багатоповерхових будинках, при зведенні малоповерхових житлових будинків, а також як утеплювач.

Пінобетон та газобетон є конструкційно-теплоізоляційними будівельними матеріалами.



Рисунок 1.10 - Кладка із газобетонних блоків

До нових стінових матеріалів відносяться полістиролбетон та термоблок. Полістиролбетон з'явився не більше 10 років тому і є композиційним матеріалом, який за своїм функціональним призначенням близький до пористих бетонів. Його одержують із легкого бетону на цементному в'язучому із спученого полістирольного заповнювача та спеціальних добавок і називають «диво-матеріал ХХІ століття».

Застосовується в малоповерховому та багатоповерховому будівництві. Наявність спеціальних порожнин дозволяє використовувати їх як незнімну опалубку.



Рисунок 1.11 - Стіновий блок із полістиролбетону

Термоблок - це стіновий елемент, що складається з двох частин: зовнішньої оболонки товщиною 25 мм з міцного піщаного бетону, яка приймає навантаження, та внутрішнього заповнення з піноцементу, яке виконує функцію теплоізоляційного матеріалу. Залізобетон - це композитний будівельний матеріал, що об'єднує в собі бетон і сталеву арматуру в єдину структуру.

Використовується для виготовлення збірних і повнозбірних стінових панелей. Відповідно до ДБН В.2.6-31:2021 нормативний термічний опір теплопередачі огорджувальних конструкцій становить, наприклад, для м. Іркутська не менше $3,9 \text{ м}^2\text{C}/\text{Вт}$. Це означає, що падіння температури при проходженні через огорджувальну конструкцію теплового потоку щільністю, що дорівнює одиниці, має бути не менше ніж $3,9 \text{ }^\circ\text{C}$.

Виконання цієї вимоги за рахунок збільшення товщини огорджувальної конструкції призводить до збільшення матеріаломісткості стін: товщина стін із залізобетону в м. Біловодськ тоді має бути не менше 7,5 м, а з повнотілої цегли - не менше 2,5 м. З метою зменшення

матеріаломісткості та Енергоємності будівельного виробництва в даний час товщина зовнішніх стін призначається, виходячи тільки з вимог міцності, а необхідний термічний опір забезпечують теплоізоляційні матеріали. Таким чином, основним напрямом, що задовольняє вимогам змінених норм, є шаруваті огорожувальні конструкції з ефективними теплоізоляційними матеріалами незалежно від основного матеріалу стін.

У наступному пункті ми докладно зупинимося на типах шаруватих огорожувальних конструкцій, що застосовуються в сучасному будівництві, проаналізуємо їх переваги та недоліки.

1.3. Системи фасадної теплоізоляції будівель

1.3.1. Класифікація систем фасадної теплоізоляції

Залежно від розташування утеплювача в огорожувальній конструкції виділяють три основні типи теплоізоляційних систем:

1. Утеплювач розташований зовні огорожувальної конструкції.
2. Утеплювач розташований із внутрішньої сторони огорожувальної конструкції.
3. Утеплювач розташований всередині самої огорожувальної конструкції.

З точки зору теплофізики, загальний термічний опір не залежить від послідовності розташування шарів різних матеріалів в конструкціях, що захищають. Однак, з погляду дифузії водяної пари, вони повинні бути розташовані в порядку зменшення термічного опору та паропроникнення зовні всередину. Порушення цієї умови може призвести до конденсації вологи в перерізі огорожувальної конструкції і, отже, зниження її термічного опору.

Перш ніж розглядати кожну з перерахованих систем фасадної теплоізоляції, докладніше зупинимося на матеріалах, що застосовуються для теплоізоляції в будівництві.

1.3.2. Теплоізоляційні матеріали

Теплоізоляційними називають будівельні матеріали та вироби, призначені для теплової ізоляції конструкцій будівель та споруд, а також різних промислових установок, апаратури, трубопроводів, холодильників та транспортних засобів.

За ДСТУ 4479:2005 теплоізоляційні матеріали (надалі скорочено ТІМ) класифікуються за такими основними ознаками. За видом вихідної сировини ТІМ можуть бути органічними та неорганічними (мінеральними).

По виду початкової сировини ТІМ можуть бути органічними і неорганічними (мінеральними).

За структурою ТІМ можуть бути волокнисті, зернисті та комірчасті.

За формою та зовнішнім виглядом матеріали поділяються на штучні вироби (плити, блоки, цегла, циліндри, напівциліндри, шкаралупи, сегменти), рулонні та шнурові (мати, шнури, джгути), пухкі та сипкі (вата, перліт, пісок та ін).

По теплопровідності ТІМ діляться на три класи: А - низька (до 0,06 Вт/м °С), Б - середня (від 0,06 до 0,115 Вт/м °С) та В - підвищена (від 0,115 до 0,175 Вт/м °С)) теплопровідність. По середній щільності, кг/м³ теплоізоляційні матеріали ділять на: особливо низької щільності (ОНЩ) марки 15,25,35,50,75; низької густини (НГ) марки 100,125,150,175; середньої густини (СГ) марки 200,225,250,300,350; щільні (ПЛ) марки 400,450,500,600.

Марка теплоізоляційного матеріалу є верхньою межею його середньої щільності. (Наприклад, вироби марки 100 можуть мати середню щільність, що дорівнює 75 - 100 кг/м³.)

По жорсткості ТІМ поділяють такі види: м'які (М), напівжорсткі (НЖ), жорсткі (Ж), підвищеної жорсткості (ПЖ), тверді (Т).

Залежно від значень параметрів горючості згідно з ДСТУ Б В.2.7-19-95 матеріали поділяють на негорючі (НГ) та горючі (Г). Горючі будівельні матеріали поділяються на чотири групи: Г1 (слабогорючі); Г2

(помірногорючі); Г3 (нормально-рючі); Г4 (сильногорючі).

Розглянемо основні технічні характеристики теплоізоляційних матеріалів ДСТУ Б EN 12091:2016.

Найважливішою технічною характеристикою ТІМ є теплопровідність – це здатність матеріалу передавати теплоту через товщу від однієї поверхні до іншої. Кількісно визначається коефіцієнтом теплопровідності λ , Вт/(м °С), що виражає кількість тепла (Дж), що проходить через матеріал товщиною 1 м, площею 1 м² протягом 1 с при різниці температур на протилежних поверхнях матеріалу 1 °С.

Щільність (ρ) - це відношення маси сухого матеріалу до обсягу, кг/м³.

Міцність на стиск - це величина навантаження в МПа, що викликає зміну товщини виробу на 10%, σ_{10} . Стискання - це здатність матеріалу змінювати товщину під дією заданого тиску. Стисливість характеризується відносною деформацією матеріалу під впливом питомої навантаження (2000 ± 30) Па.

Водопоглинання (W) - властивість матеріалу поглинати та утримувати воду при безпосередньому з нею зіткненні. Водопоглинання теплоізоляційних матеріалів характеризується кількістю води, яка вбирає сухий матеріал при витримуванні у воді, віднесеним до маси або обсягу сухого матеріалу.

Сорбційна вологість (W сорб) – рівноважна гігроскопічна вологість матеріалу за певних умов протягом заданого часу. Сорбційна вологість матеріалу характеризується кількістю води, адсорбованої зразком сухого матеріалу, що витриманий над водою, віднесеним до маси сухого матеріалу.

Паропроникність (за ДСТУ Б В.2.7-253:2011) - здатність матеріалу пропускати через свою товщу водяну пару. Паропроникність характеризується коефіцієнтом паропроникності μ , чисельно рівною кількості водяної пари в міліграмах, що проникає через шар матеріалу товщиною 1 м, площею 1 м² протягом 1 год, і різницею парціальних тисків пари в 1 Па.

Морозостійкість - властивість матеріалу, насиченого водою, витримувати багаторазове поперемінне заморожування та розморожування без значних ознак руйнування. Морозостійкість характеризується числом циклів поперемінного заморожування при -15 , -17°C та відтаванні у воді при температурі близько 20°C .

Вогнестійкість - властивість матеріалу протистояти дії високих температур без запалення, порушення структури, міцності та інших його властивостей.

В Україні працює понад 200 підприємств із виробництва теплоізоляційних матеріалів потужністю близько 15 млн. м^3 на рік

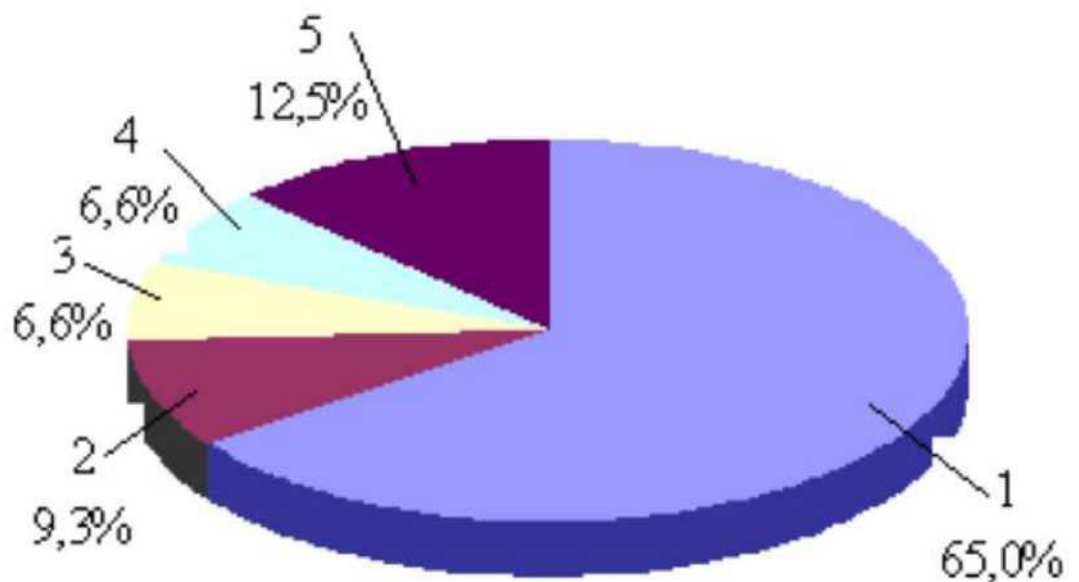


Рисунок 1.12 - Структура виробництва утеплювачів в Україні: 1- мінераловатні; 2- скловатні; 3- пінопласти; 4- комірчасті бетони; 5- базальт, перліт, вермікуліт та ін.

Структура обсягів випуску утеплювачів в Україні мало відрізняється від структури, що склалася у промислово розвинених країнах світу, де на частку волокнистих утеплювачів також припадає 60-80% загального обсягу.

Світове виробництво теплоізоляційних виробів з мінеральної сировини

та скловати досягло 10 млн. тонн/рік на суму близько 32 млрд. доларів США. В Україні виробництво теплоізоляційних матеріалів з мінеральної сировини та скловолокнистих матеріалів становить трохи більше 585 тис тонн/рік. Обсяг виробництва теплоізоляційних матеріалів в Україні збільшується в середньому на 20% на рік, проте теплоізоляції не вистачає. Черга на купівлю теплоізоляції на заводах, що діють, в даний час складає 1 місяця.

Україна є великою і холодною країною, де для того, щоб жити навіть на третині площі, необхідне тепле житло, що опалюється 4-6 місяців на рік. Незважаючи на це, забезпеченість населення теплоізоляційними матеріалами в Україні у 7-12 разів менша, ніж у промислово розвинених країнах світу.

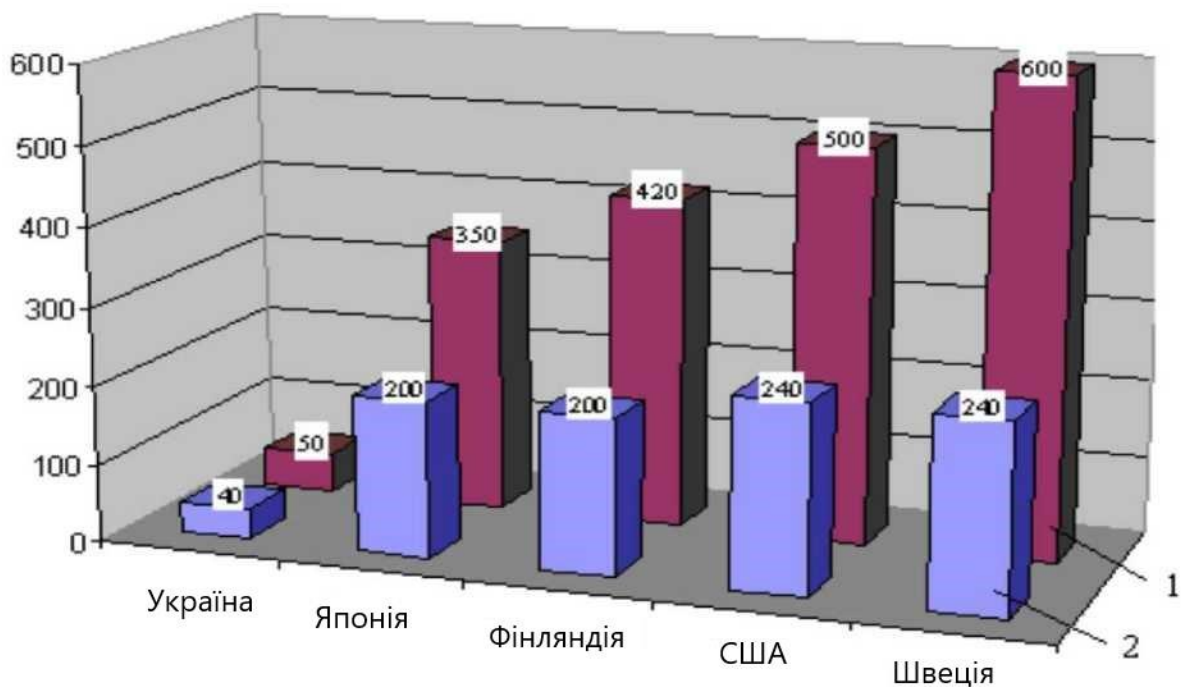


Рисунок 1.13 - Забезпеченість населення теплоізоляційними матеріалами, $\text{м}^2/1000$ чол: 1 всього; 2 - у тому числі мінеральна вата

Транспортування теплоізоляційних матеріалів на великі відстані не завжди ефективно через їх невелику середню густину, що призводить до недооптимізованого використання вантажопідйомності транспортних засобів. Наприклад, у вагоні з вантажопідйомністю 60 тонн можна перевезти трохи більше 10 тонн мінеральних плит. Таким чином, вартість 1 м^2 житла неухильно зростає.

1.3.3. Фасадні системи з утеплювачем зовні огорожувальної конструкції

В системі зовнішньої фасадної теплоізоляції товщина огорожувальної конструкції призначається, виходячи з вимог міцності. Товщина утеплювача має бути такою, щоб зони конденсації вологи та основного перепаду температури знаходились усередині теплоізоляційної плити. В цьому випадку накопичена волога легко випаровується через високу паропроникність системи.

Головна вимога розміщення додаткової теплоізоляції із зовнішнього боку полягає в тому, що опір паропроникненню теплоізоляційного шару разом із шаром зовнішнього облицювання не повинен перевищувати опір паропроникненню існуючої стіни.

У цій системі широко застосовують такі напрямки:

- система «мокрого» типу – зі оштукатурюванням фасаду;
- навісний вентильований фасад.

Системи «мокрого» типу». Системи зовнішньої теплоізоляції «мокрого» типу з'явилися в Україні порівняно недавно, але у світі вже накопичено багатий досвід застосування цієї технології.

Показано основні елементні шари штукатурних систем.

Системи утеплення з оштукатурюванням фасадів можуть використовувати клейове або механічне закріплення утеплювача до існуючої стіни. Це може бути здійснене за допомогою анкерів, дюбелів та каркасів, після чого застосовуються захисні шари. В залежності від товщини фасадних штукатурних шарів, системи можуть бути оснащені жорсткими або гнучкими кріпильними елементами, які прикріплюють плити утеплювача до стіни.

Першу використовують при малих товщинах штукатурних шарів 8-12 мм, а другу при 20-30 мм.



Рисунок 1.14 - Основні елементні шари штукатурних систем «мокрого типу» (з прикладу системи (Шуба-Плюс) /22,37/): 1- цегляна стіна; 2- клеючий склад; 3-утеплювач (плита на основі мінеральних базальтових волокон); 4- армуюча сітка; 5-дюбель; 6 – захисне покриття; 7 - декоративне покриття.

Тонкошарова штукатурна система. Перед наклеюванням теплоізоляційних плит стіна, призначена для оздоблення, готується, ґрунтується, потім вимірюється за допомогою спеціального вимірювального інструменту для з'ясування якості та відхилень будівлі. Робляться рівні позначки і ставляться маяки. Утеплювач (базальтова вата, мінераловатні плити, пінополістирол) приклеюється цементно-клейовим складом до поверхні стіни та вирівнюється за рівнем і щодо маяків. Плити утеплювача клеяться в шаховому порядку, щоб не збігалися шви плит і без зазорів між ними. Коли клей просохне, крізь плити свердяться отвори в стіні для встановлення дюбелів, що закріплюють.

Довжина дюбеля повинна бути підібрана таким чином, щоб він входив у стіну на глибину мінімум 5 см. Забитий і трохи втоплений у плиті утеплювача дюбель фіксується цвяхом, який усередині стіни розклинає дюбель і виключає можливість його випадання зі стіни. Такий додатковий механічний спосіб кріплення підстрахування кріплення утеплювача за допомогою клею. Два комбінованих способу кріплення плит дають у результаті максимально міцне і водночас пластичне з'єднання зі стіною будівлі. Після закріплення дюбелями йде обробка всіх кутів для надання їм механічної міцності. Кути додатково вирівнюються за допомогою спеціальних алюмінієвих куточків із наклеєною на них склосіткою. Додатково смужкою сітки проклеюються внутрішні кути. На місцях найбільш можливих деформацій, таких, як кути вікон та дверей також навскіс приклеюється склосітка. Монтаж плит утеплювача повинен бути виконаний дуже ретельно, оскільки за допомогою плит стіни вирівнюються і від якості монтажу великою мірою залежить зовнішній вигляд поверхні, що утеплюється. Поверх утеплювача наноситься базовий шар спеціальної клейової суміші товщиною 3-5 мм, і в нього втоплюють армуючу полімерну сітку або склосітку зі лугостійкого скла. Всі ділянки сітки повинні перекривати один одного щонайменше на 5 см, щоб не залишилося поверхні без сітки. Таким чином, виходить шар клею, армований сіткою. Після просушки армованого шару отримана поверхня додатково вирівнюється за допомогою клею методом шпаклювання необхідну кількість разів. Поверхня ще раз добре просушується та витримується. Цей шар виконує функції захисту від механічних та атмосферних впливів, а навантаження від плит утеплювача може сприйматися жорсткими елементами кріплення, що працюють на поперечний вигин і розтяг. Базовий шар герметично примикає до отворів будівлі (віконних та дверних), так що утеплювач виявляється гідроізованим від впливу атмосферних опадів. Просохла поверхня ґрунтується фасадним ґрунтом і знову просушується. Поверх базового наноситься декоративний або оздоблювальний шар, який виконує

декоративну функцію. Оздоблювальний шар або поставляється заздалегідь кольорованим, або виконується остання операція - забарвлення оздоблювального шару. Товщина оздоблювального шару може становити 3-5 мм. Загальна товщина штукатурних шарів зазвичай не перевищує 12 мм.

Базовий та обробний кулі бувають двох видів: мінеральні та полімерні. Мінеральні кулі краще пропускають пари води, вони дешевші. Полімерні кулі міцніші та довговічніші в експлуатації.

Товстошарові штукатурні системи. Особливістю системи є роздільна робота стіни та теплоізоляційного шару, що зменшує негативний вплив температурно-вологісних деформацій, що виникають у захисному штукатурному шарі.

Така робота забезпечується за рахунок застосування рухомих кронштейнів, що кріпляться до стіни за допомогою дюбелів. Утеплювач наколюють на рухому частину кронштейнів знизу вгору з дотриманням правил перев'язки швів: зсув швів по горизонталі, зубчаста перев'язка на кутах будівлі, обрамлення віконних отворів плитами з підвіконними вирізами «за місцем» і т.п. Фіксацію положення утеплювача забезпечують сталевими шпильками, що встановлюються після укладання на нього сталеві штукатурної сітки.

На поверхні плит утеплювача для зчеплення з ним та закриття армуючої сітки, шпильок та гнучких кронштейнів наносять шар «оббризку» товщиною 7-10 мм з розчинної суміші на цементно-вапняному в'язучому. Після схоплювання шару «оббризку» на нього наносять шар ґрунтовки товщиною 10 мм, що забезпечує захист плит від атмосферних впливів і механічних деталей від корозії, а потім наноситься декоративне покриття товщиною 2-5 мм.

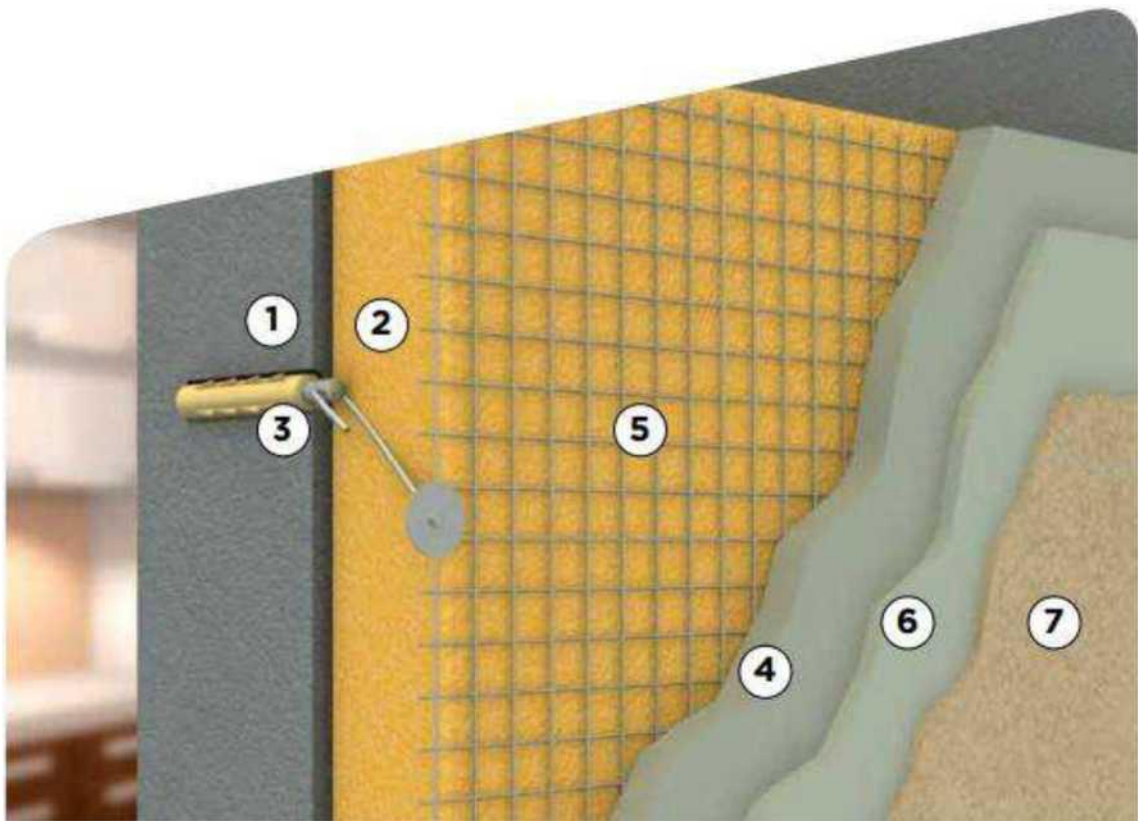


Рисунок 1.15 - Матеріали, що входять до системи «Серпорок»: кріплення LRH, складається з трьох частин: анкерної частини, рухомого гака та трьох фіксуєчих пластин; штукатурна сітка; мінераловатна теплоізоляція (щільність не менше 70 кг/куб. м, товщина 30-150 мм); ґрунтуючий і вирівнюєчий вапняно-цементний розчин, що наноситься вручну або механічним способом у два шари; кольорові оздоблювальні вапняно-цементні фасадні штукатурки та фарби (36 кольорів з різною фракцією та фактурою)

Принципова особливість даної системи – відсутність жорсткого приклеювання штукатурного шару до поверхні утеплювача.

Як утеплювач можуть використовуватися такі матеріали, як пінополістирол, мінераловатні плити на синтетичному сполучному.

Кріпильні елементи виконують з корозійно-стійкої сталі, а сітку з розміром комірок 20x20 мм - зі сталі з гальванічним оцинкуванням поверхні.

Представниками такої системи є: «Серпорок» (Фінляндія) і шведська -

«Термофасад».

Переваги систем зі оштукатурюванням фасадів:

1. Покращений вологий та тепловий режим конструкцій та загальний температурний режим приміщень, т.к. межа промерзання і «точка роси» розташовані зовні огорожувальної конструкції (у утеплювачі, ближче до вулиці) і в результаті цього стіна може служити акумулятором тепла.

2. При дотриманні головної вимоги до розміщення теплоізоляції декоративна штукатурка і армуючий шар не дають волозі проникнути всередину, і при цьому водяна пара, яка утворюється всередині будинку від життєдіяльності людини, безперешкодно виходить в атмосферу.

3. Матеріал утеплення має підвищену вогнестійкість.

4. Знижує температурні навантаження на стіни і тим самим зменшує ймовірність утворення в них тріщин.

5. Захист зовнішніх стін від впливу атмосферної вологи, що сприяє збереженню їхньої міцності та несучої здатності.

6. Захист зовнішніх стінок від хімічно агресивних речовин.

7. Відсутність «висолів» на фасадах.

8. Підвищення теплозахисту без зменшення житлової площі.

9. Виключення "містків холоду", що скорочує витрати на опалення будівлі.

10. У панельному домобудівництві вирішується проблема захисту міжпанельних швів.

11. Можливість застосування як на новозбудованих, так і на будинках, що реконструюються.

Недоліки:

1. Необхідність суцільного утеплення фасадів будинку.

2. Необхідність захисту шарів теплоізоляції від атмосферних впливів і поверхневих температурних деформацій (тріщин), а також складність виконання примикань до вікон і балконних дверей.

3. Сезонність виконання деяких видів робіт, оскільки дана технологія

передбачає наявність «мокрих» процесів, які можуть проводитися лише за теплої погоди (до $+5^{\circ}\text{C}$). Можливість виконання частини робіт (приклеювання утеплювача, дюбелювання та армування) у зимовий період з використанням теплових завіс. Однак остаточне оздоблення, у всіх випадках, здійснюють у теплу пору року.

4. Необхідність поновлення фасадів (нанесення нової декоративної штукатурки або фарбування).

5. Вартість іноземних систем орієнтовно становить 20 – 25 \$/м².

Вентильований фасад. Принциповою особливістю подібних систем є повна відсутність «мокрих» процесів та наявність вентиляційного зазору (2-5 см) між утеплювачем та захисним екраном, який займає 1/4 об'єму між стіною та облицюванням.

Навісний вентильований фасад є конструкцією, що складається з матеріалів облицювання та підлицувальної конструкції. Подіблювальна конструкція складається з кронштейнів, які кріпляться безпосередньо на стіну за допомогою дюбелів і опорних вузлів, і несучих профілів, що встановлюються на кронштейни, до яких за допомогою спеціального кріплення прикріплюються елементи облицювання.



Рисунок 1.16- Конструкція вентильованого фасаду (вид зверху)

Несуча профільна конструкція застосовується трьох типів: горизонтальна, вертикальна та комбінована (сумісна).

Основне призначення кронштейнів - забезпечувати необхідну відстань між стіною, утеплювачем та облицюванням, що дозволяє використовувати утеплювач необхідної товщини, забезпечувати можливість виправлення нерівності стін, а також витримувати статичні та динамічні навантаження.

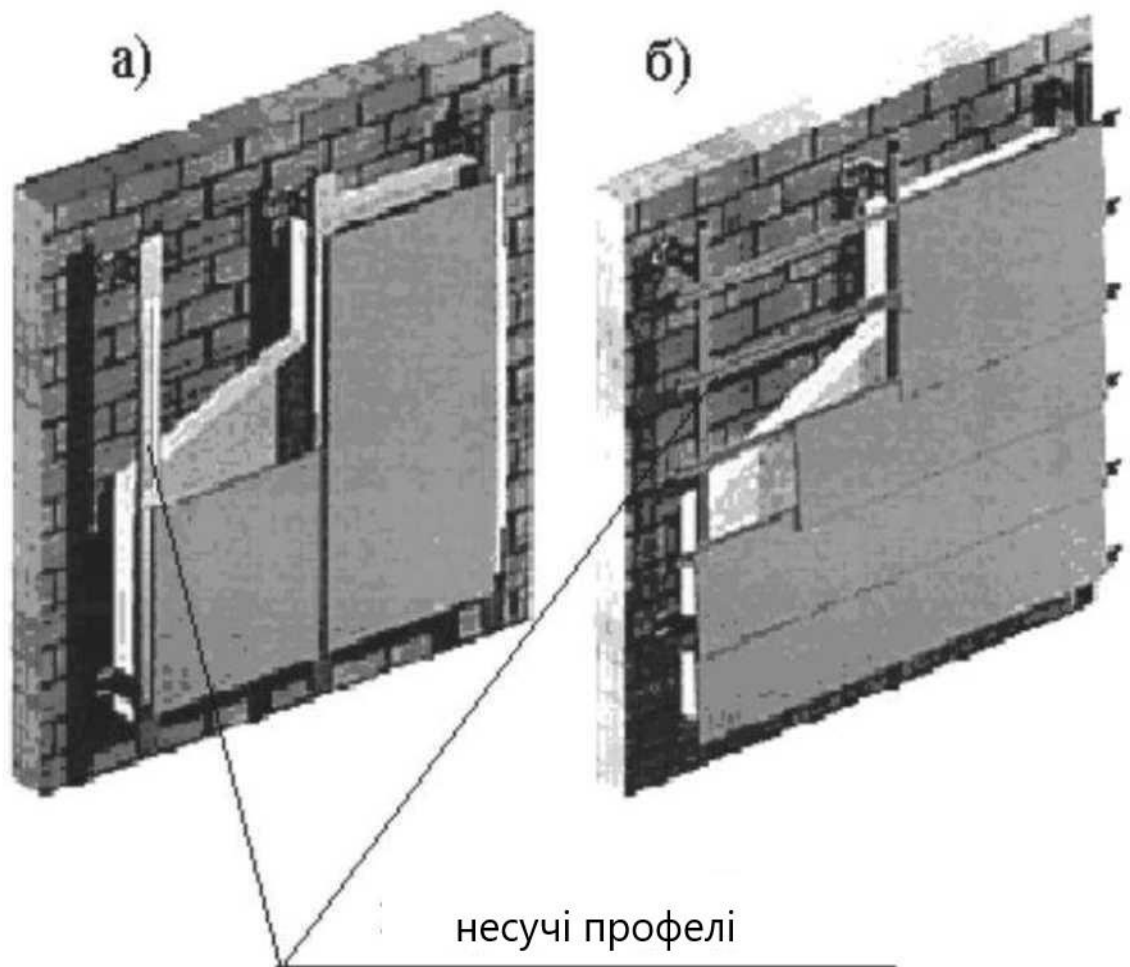


Рисунок 1.17- Подоблицувальна конструкція: а) - з вертикальними напрямними; б) - комбінована система

Для додаткового утеплення зовнішніх конструкцій у підлицувальну

конструкцію кріпиться теплоізоляційний шар (мінераловатні або базальтові плити). Для кріплення теплоізоляційних плит можуть застосовуватися тарілчасті дюбелі або просто грибоподібні елементи кріплення безрозпірних складових.

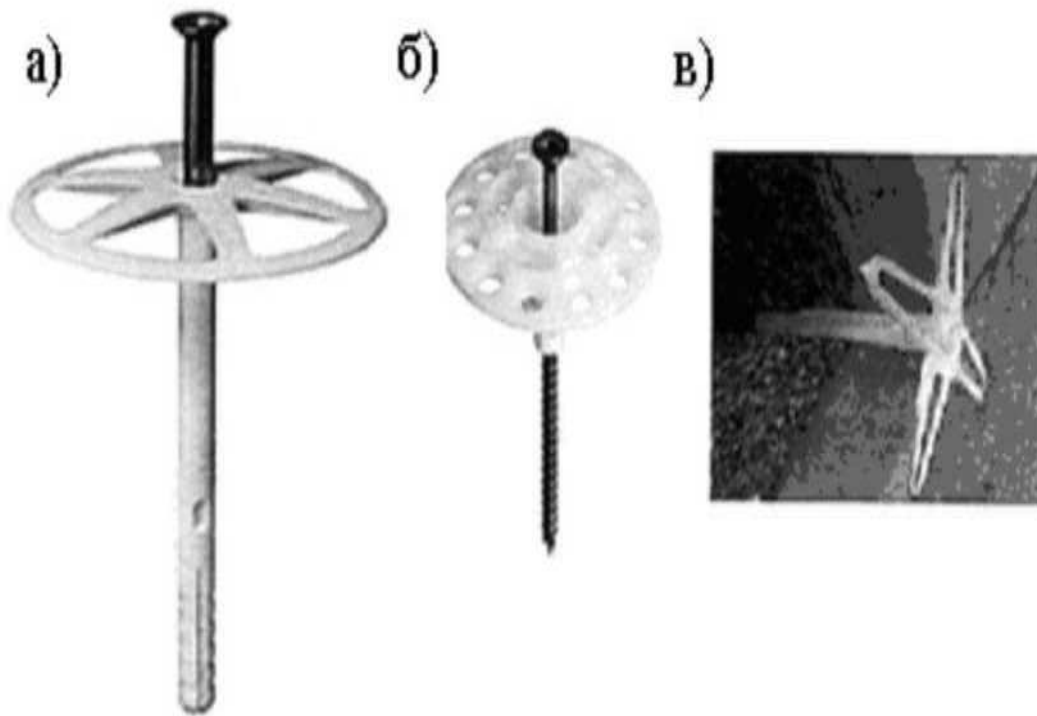


Рисунок 1.18 - Елементи кріплення теплоізоляційних плит: а,б) - тарілчасті дюбелі фірми Koelner; в) – грибоподібний елемент фірми Hilti

Вентиляційний зазор через перепади тиску працює за принципом витяжної труби, видаляючи весь надлишок вологи зі стін будівлі. Вода не конденсується на них, при будь-яких перепадах температури стіна залишається сухою, що сприяє підвищенню загального термічного опору стіни та покращенню температурно-вологісного режиму приміщення та повітрообміну через зовнішню стіну.

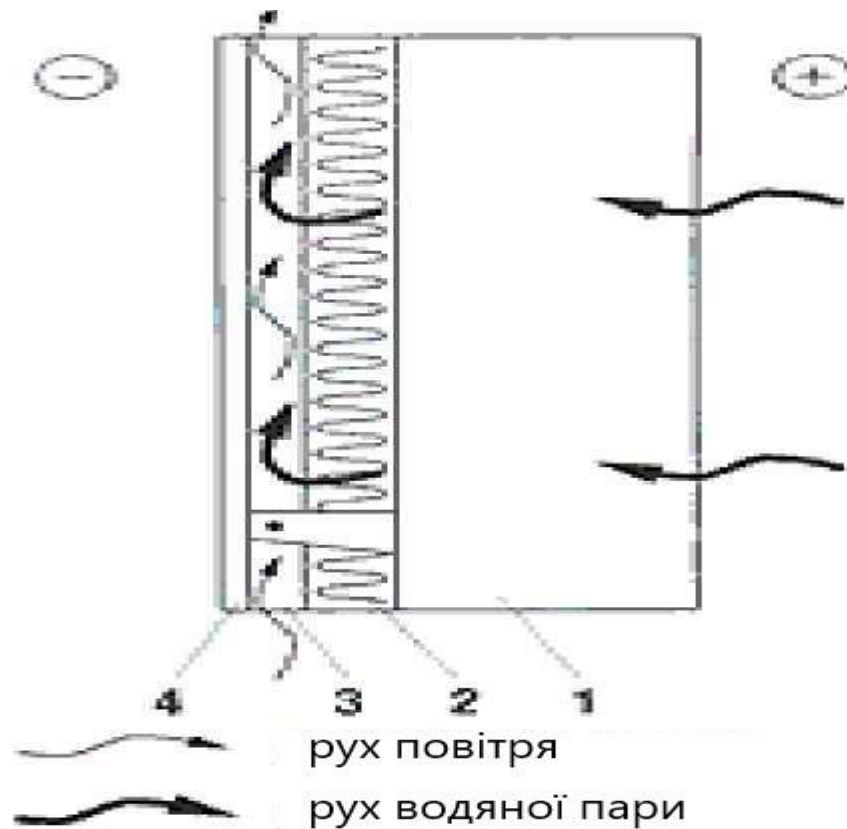


Рисунок 1.19 - Принцип роботи вентиляваного фасаду: 1- стіна, що утеплюється; 2 – утеплювач; 3- вентиляований повітряний прошарок; 4 - зовнішнє облицювання

Як правило, перепад тиску по висоті будівлі не є значною величиною і повітряний потік не має великої швидкості.

Тим не менш, при поєднанні ряду факторів (температура на захисному екрані, швидкість руху повітря і величина повітряного зазору) може виникнути турбулентність. В цьому випадку необхідна наявність вітрозахисного шару, тому що турбулентність сприяє видуванню волокна з утеплювача, що в перспективі може призвести до його усадки та утворення «містків холоду».

Для захисту утеплювача можна застосовувати вітрозахисну паропроникну плівку (типу Tyvek), використовувати кашовані (вже із плівкою) плити утеплювача або застосовувати жорсткі теплоізоляційні

плити.

Показаний фрагмент фасаду будівлі з підлицювальною конструкцією з вертикальних напрямних профілів та з покриттям теплоізоляційного матеріалу вітрозахисною паропроникною плівкою Tyvek.

Поверх утеплювача монтуються навісні облицювальні плити (захисний «дощовий» екран), які не тільки оберігають утеплювач від механічних пошкоджень, атмосферних опадів, вітрової та радіаційної ерозії, але й дозволяють надати фасаду виразності за рахунок використання різних типів конструкцій, форм, фактур та кольорів обробки облицювальних елементів. Декоративні панелі можуть бути виконані з натурального каменю, металу, вінілу, поліпропілену, композитних матеріалів, скла, цементно-волокнистої плит. Для того щоб вибрати відповідний матеріал для облицювання, необхідно оцінити переваги та недоліки кожного з них.



Рисунок 1.20 - Фрагмент фасаду будівлі, що будується

Механічне кріплення облицювальних матеріалів до несучих профілів підлицювальної конструкції здійснюють за допомогою кріпильних деталей. Розрізняють приховані та видимі елементи кріплення. Простіше видиме кріплення здійснюють клямерами, шурупами саморізами або заклепками. Щоб надати всій конструкції єдине колірне рішення, видимі частини кріплення забарвлюють колір облицювального матеріалу.

При прихованому механічному кріпленні плити підвішуються на металевому каркасі у чотирьох точках кріплення. Шви між плитами герметизуються спеціальною гумовою стрічкою або алюмінієвими планками різного профілю.

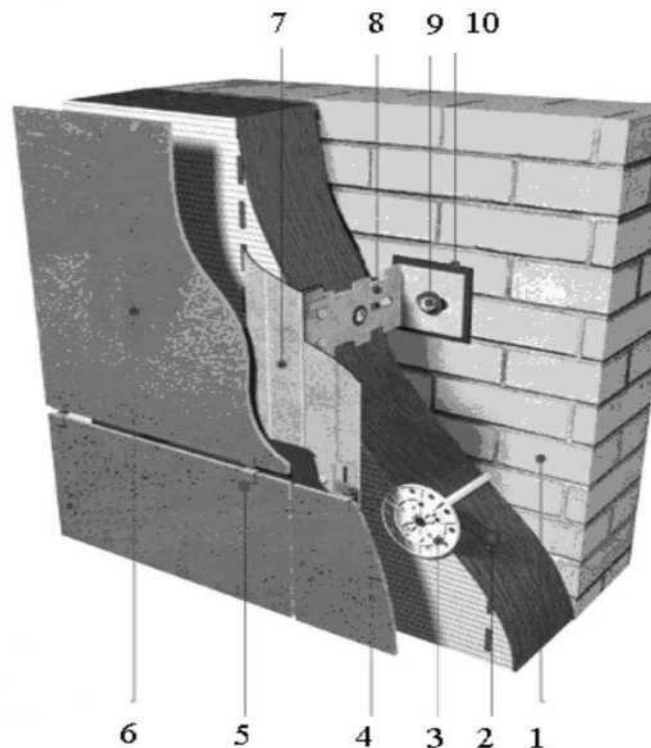


Рисунок 1.21 - Конструкція навісного вентиляваного фасаду системи «Краспан» з видимим кріпленням: 1- цегляна стіна; 2- мінераловатний утеплювач; 3- тарілчастий дюбель; 4 - вітрозахисна плівка; 5- кляммір пофарбований; 6 - фасадна плита; 7- вертикальний профіль; 8- підвижний кронштейн; 9- анкерний кріпитель; 10 - прокладка

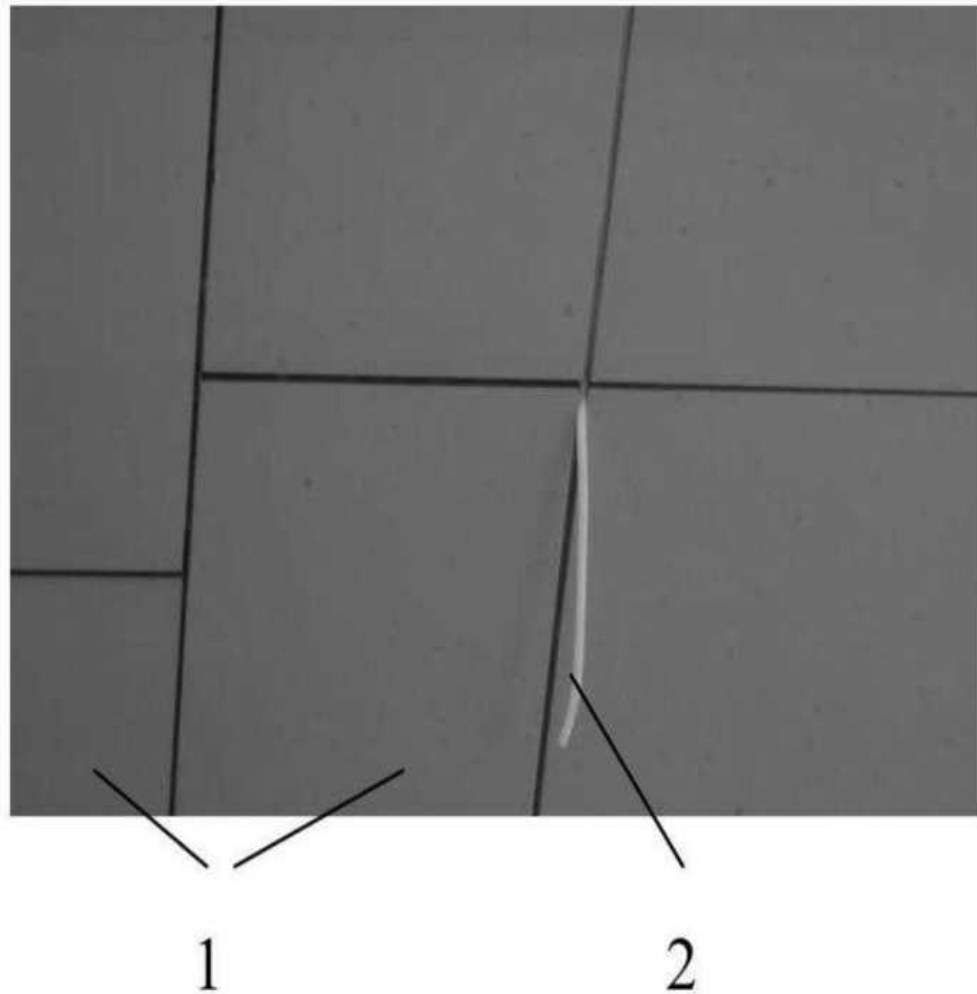


Рисунок 1.22 - Приховане механічне кріплення облицювальних панелей: 1 – металеві фасадні панелі-касети; 2 - гумова стрічка

На рис. показаний фрагмент фасаду будівлі з облицювальними виробами із фасадних панелей-касет.

При облицюванні будівлі цеглою, блоками або каменем облицювальний шар може спиратися на обріз існуючого фундаменту (якщо дозволяє його ширина) або спеціально підведений під нього фундамент. Для вентиляції порожнини стінки в нижньому ряду кладки передбачають особливі продухи. Для нижніх продухів можна використовувати щільну цеглу, покладену на ребро таким чином, щоб зовнішнє повітря через отвори в цеглі мав можливість вільно надходити в повітряний прошарок стіни. Верхні продухи передбачають у карнизній частині стіни.

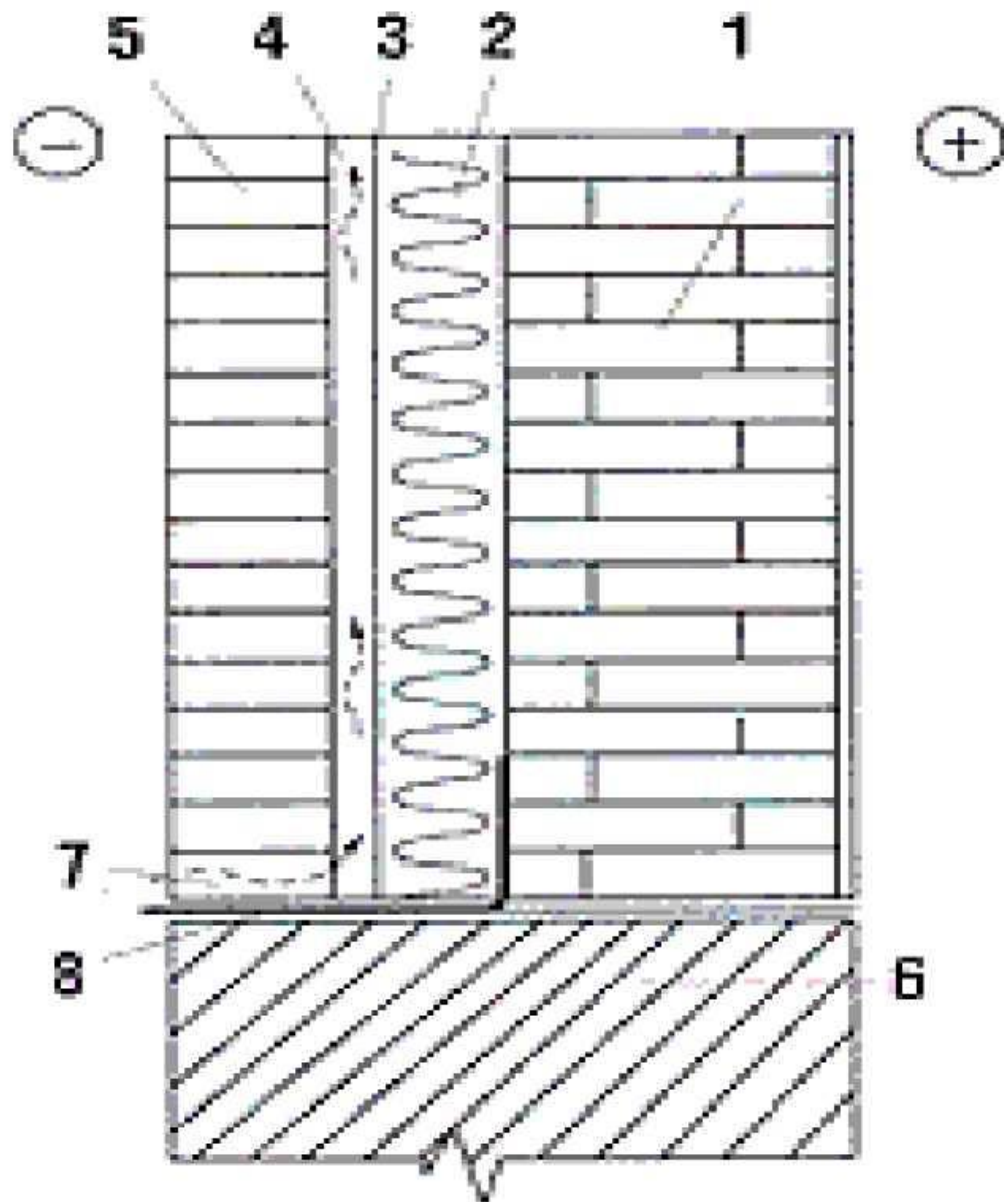


Рисунок 1.23 - Фрагмент фасаду при облицюванні будівлі цеглою: 1- стіна, що утеплюється; 2 - утеплювач; 3- вітрозахисна паропроникна мембрана; 4- повітряний прошарок; 5 - облицювання з цегли та каменю; 6- фундамент; 7- вентиляційний продух; 8- гідроізоляційний матеріал Системи утеплення із захисно-декоративними екранами існують як в імпортному («Eternit» - Бельгія, LTM Company OY - Фінляндія, SLAVONIA (SPIDI), EUROFOX - Австрія та ін.).

Переваги вентилязованих фасадів:

Вентильованим фасадам притаманні ті ж переваги, що і штукатурним системам. На додаток можна зазначити:

1-Більш інтенсивне сушіння матеріалів стін і відповідно більш високі теплозахисні властивості завдяки вентиляційному зазору.

2-Відсутність «мокрих» процесів, що дозволяє вести роботи у будь-яку пору року.

3-Легкість заміни окремих панелей, що вийшли з ладу.

4. Підвищення звукозахисту будівель (зменшення шуму на 10-12 дБ).

5. Пожежобезпека. Недоліки:

1. Складність процесу проведення робіт. Потребує високої кваліфікації робітників.

2 . У стиках облицювальних панелей (з фаскою по зовнішній поверхні граней) - висока водонепроникність облицювання та велике замочування утеплювача при напрямі потоку вологи, близькому до перпендикулярної поверхні стін.

3. Досить висока вартість, так як вітчизняне виробництво занадто мало і елементи теплоізоляції імпортуються. Середня вартість вентилязованих фасадів від 60\$/м².

4. Велика трудомісткість робіт.

5. Обмеженість у застосуванні для будівель зі складною архітектурою.

Порівнюючи два розглянуті типи систем зовнішньої теплоізоляції фасадів, можна відзначити, що «штукатурні» системи дешевші (на 30 – 40%), легше монтуються на будівлях складних архітектурних форм, легко дозволяють використовувати навісні декоративні елементи, забезпечують більшу різноманітність кольорів та фактури зовнішнього декоративного шару. Натомість системи вентилязованого фасаду простіше при виправленні помилок та пошкоджень, що виникли при монтажі та експлуатації, допускають цілорічний монтаж без застосування засобів підігріву.

На вигляд «штукатурні» системи виглядають яскравими і ошатними.

Системи вентильованого фасаду мають суворіший вигляд з характерною, облицьованою плиткою поверхнею.

Іноді на будинках складних форм обидві системи теплоізоляції комбінують - частину будівлі виконують за «штукатурною», а частину за вентильованою технологією.



Рисунок 1.24 - Фасад будівлі з тонкошаровою системою зовнішнього утеплення.



Рисунок 1.25 - Зовнішній вигляд будівлі з вентиляльованим фасадом

1.3.4. Системи з утеплювачем із внутрішньої сторони огорожувальної конструкції

Часто єдиним можливим варіантом є розміщення теплоізоляційного матеріалу на внутрішній поверхні стін існуючих будівель. Це може бути обумовлено тим, що теплоізоляція потрібна лише в певних частинах будівлі, а не в усіх приміщеннях.

По-друге, роботи з утеплення можуть проводитися у будь-який час року. І нарешті, по-третє, цей метод не впливає на зовнішній вигляд будівель, що робить його популярним у будівлях зі складними архітектурними фасадами або історичною цінністю.

При розміщенні додаткової теплоізоляції з внутрішньої сторони стіни

необхідно враховувати дві умови:

1. Температура поверхні стіни під шаром утеплювача при середній температурі зовнішнього повітря в найбільш холодний місяць року не повинна бути нижчою за температуру «точки роси» для водяної пари в повітрі приміщення.

2. Опір теплопередачі шару, що утеплює, не повинен перевищувати 20% від загального опору теплопередачі існуючої стіни.

Порушення другої умови у бік збільшення опору теплопередачі на велику величину спричиняє зниження температури поверхні стіни під шаром утеплювача. При зниженні цієї температури нижче за температуру «точки роси» відбувається конденсація водяної пари на поверхні стіни і намокання утеплювача, що істотно порушує температурно-вологісний режим конструкції стіни. Для усунення переміщення водяної пари з приміщень у стіни в багатьох випадках влаштовують пароізоляцію, яка розташовується по шару, що утеплює, під обробкою стіни. Як пароізоляційні матеріали рекомендуються поліетиленова плівка, паронепроникне забарвлення за 2 рази синтетичними емалями та ін.

Для теплоізоляції стін з внутрішньої сторони рекомендуються матеріали з найменшою пожежною небезпекою та екологічно чисті: пінопласт, мінеральна вата, ековата, піноскло, мати та плити із штапельного волокна, штукатурка із цементно-перлітового розчину, що наноситься по сітці, та інші.

Переваги:

1. Цілорічне виконання робіт.

2. Можливість застосування більшої кількості ефективних теплоізоляційних матеріалів.

3. Теплоізоляція не потребує захисту від атмосферних впливів, має біостійкість, а ізоляція, що напильюється, має хорошу адгезію на більшість матеріалів зовнішніх стін.

Недоліки:

1. Наближення зони конденсації до внутрішньої поверхні конструкції, що потребує додаткових витрат на пароізоляцію.

2. Необхідність боротьби зі зволоженням конструкцій, оскільки підвищена вологість призводить до появи та активного зростання грибків та плісняви.

3. Скорочення площі приміщення рахунок збільшення товщини стіни.

4. Застосовувані методи не завжди відповідають санітарно-гігієнічним вимогам та правилам безпечного ведення робіт усередині приміщення.

5. Важкість ізоляції місця зчленування стіни та перекриття, що веде утворенню “містків холоду”, через які відбуваються великі втрати тепла, причому втрати тепла в цих зонах можуть перевищувати втрати через решту площі стіни.



Рисунок 1.26 - Утеплення приміщення із м'якими плитами PAROK

Порівнюючи системи фасадів із внутрішньою та зовнішньою теплоізоляцією, можна відзначити ще одну перевагу зовнішньої теплоізоляції – це зростання теплоакумуючої здатності масивної частини стіни. Наприклад, при зовнішній теплоізоляції цегляних стін вони при відключенні джерела тепла остигають у 6 разів повільніше за стіни з внутрішньою теплоізоляцією при одній і тій же товщині шару утеплювача.

Виходячи з вищесказаного, можна зробити наступний висновок: на утеплення зсередини можна йти лише тоді, коли неможливо це зробити зовні (історичні пам'ятники зі складним архітектурним рельєфом), або коли це економічно доцільно при обов'язковому розрахунку та перевірці річного балансу вологопоглинання в конструкції.

1.3.5. Системи з утеплювачем усередині огорожувальної конструкції

Ідея розташування утеплювача усередині огорожувальної конструкції виникла не сьогодні. Ще з середини минулого століття в Україні застосовували тришарові цегляні стіни, використовуючи як заповнювач мох, торф, тирсу. Нині мох, звісно, не використовують, його замінили сучасні ефективні утеплювачі.

Будування огорожувальних конструкцій з утепленням всередині стін можливе з різних конструкційних матеріалів, таких як деревина, штучні кам'яні матеріали, панелі та монолітні структури. Ці конструкції можуть включати зовнішні стіни каркасних дерев'яних будинків, тришарові залізобетонні панелі, а також стіни, побудовані зі штучних кам'яних матеріалів, таких як колодязі.

Найбільшого поширення в Україні набули два типи тришарових конструкцій з кладкою із штучних матеріалів:

1. Із середнім шаром із теплоізоляційних матеріалів.
2. (Колодцева) кам'яна кладка в комплексі з ефективною теплоізоляцією.

Існують дві основні конструктивні схеми стін першого типу: тришарові стіни без повітряного зазору та з вентиляльованим повітряним зазором.

Трьохшарові стіни без повітряного зазору. При цьому способі теплоізоляції між цеглою (блоками) основної стіни закладаються дротяні анкери, на які розжарюється плитний утеплювач. Хвостики анкерів закріплюються між облицювальною цеглою, забезпечуючи міцність конструкції. Потім влаштовується цегляна кладка (зовнішній облицювальний шар), що з'єднується з монолітною стіною кронштейнами і Z - подібними гнучкими зв'язками з нержавіючої або оцинкованої сталі, розташованими по сітці. Зовнішній самонесучий шар товщиною 0,5- 1 цегла з'єднується з внутрішньою в рівні перекриттів залізобетонними рамками.

Товщина першого шару, який є внутрішньою несучою стіною, визначається виключно вимогами до міцності. Товщина теплоізоляційного шару залежить від теплофізичних вимог, а третій (лицьовий) шар має за завдання захищати утеплювач від зовнішніх впливів. Для лицьового шару можуть застосовуватися цегла або каміння керамічна лицьова, добірна стандартна цегла, силікатна цегла, а також бетонна лицьова цегла, бетонні та керамзитобетонні блоки зі штукатуркою. При облицюванні силікатною цеглою цоколь, пояси, парапети та карниз виконуються з керамічної цегли.

Утеплювачі піддаються спеціальним вимогам через обмежену можливість проведення ремонтно-відновлювальних робіт. Основні вимоги включають стійкість до деформацій і вологостійкість. До утеплювачів, які задовольняють ці вимоги та найчастіше використовуються, відносяться мінеральна вата, екструдований пінополістирол, ековата та карбамідні пінопласти.

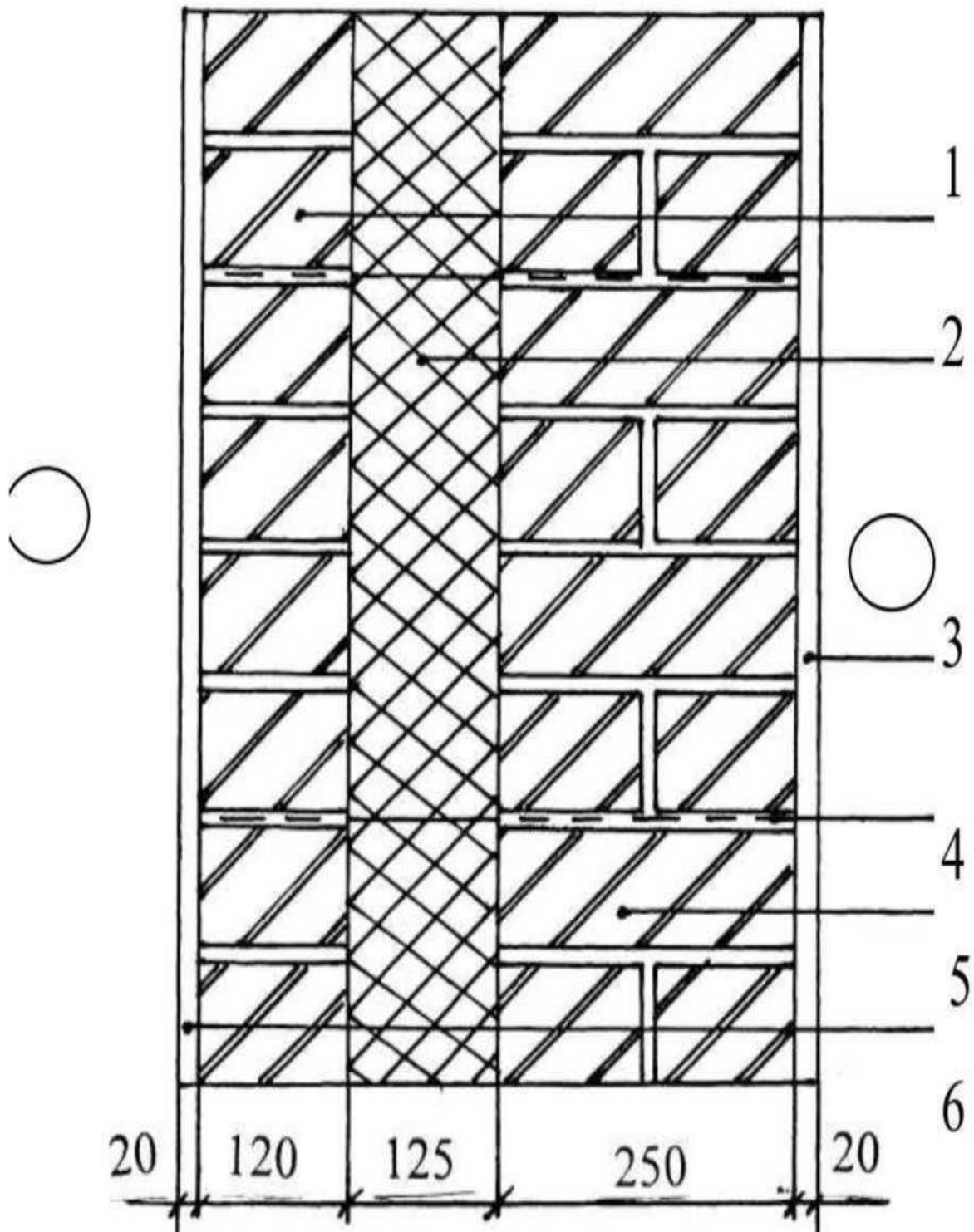


Рисунок 1.27 - Конструктивна схема тришарової стіни без повітряного зазору з цегли з гнучкими зв'язками: 1 - зовнішня цегляна стіна; 2 – теплоізоляційний матеріал; 3 - внутрішнє оздоблення; 5 - внутрішня несуча цегляна стіна; 4 – металеві зв'язки; 6 - зовнішня обробка

Внутрішній і зовнішній шари тришарової конструкції, що захищає, повинні бути пов'язані між собою жорсткими або гнучкими зв'язками. З позиції теплотехніки ці зв'язки є «містками холоду», і вони можуть значно знизити термічний опір всієї конструкції, що захищає. Очевидно, що найбільше зниження теплоопору дає застосування жорстких цегляних зв'язків. Використання зв'язків із нержавіючої сталі значно зменшує тепловтрати. Проте найперспективніший варіант з погляду боротьби з «містками холоду» - застосування спеціальних склопластикових зв'язків.

При проектуванні та експлуатації тришарових стін із внутрішнім розташуванням утеплювача існує ще одна надзвичайно серйозна проблема, на яку необхідно звернути увагу – це конденсація вологи всередині конструкції. Водяна пара, в результаті дифузії, що потрапляє в товщу конструкції, може призвести до прогресуючого відсирювання утеплювача і поступової втрати ним своїх теплоізолюючих властивостей. У цьому утеплювач не висихає навіть у теплу пору року, т.к. Зовнішній шар є паробар'єром. Для боротьби з цим явищем застосовується пароізоляційний шар та/або влаштовується повітряний вентиляційний зазор. Необхідність та місцезнаходження паробар'єра визначаються розрахунком. За потреби він влаштовується перед теплоізоляційним шаром.

Тришарові стіни з повітряним зазором. При цьому способі влаштування стіни спочатку зводиться внутрішня несуча стіна будівлі із звичайної будівельної цегли (або блоків). Теплоізоляційні плити насаджуються на дротяні анкери, попередньо закладені в кладку стіни, що несе, і притискаються до неї пружинними шайбами.

У конструктивному варіанті використовуються гнучкі зв'язки з фіксаторами, які призначені для того, щоб зв'язати шари цегляної кладки між собою і утримати плиту утеплювача для створення повітряного прошарку між облицювальним шаром і утеплювачем. Роль фіксаторів відіграють спеціальні шайби з антикорозійним покриттям

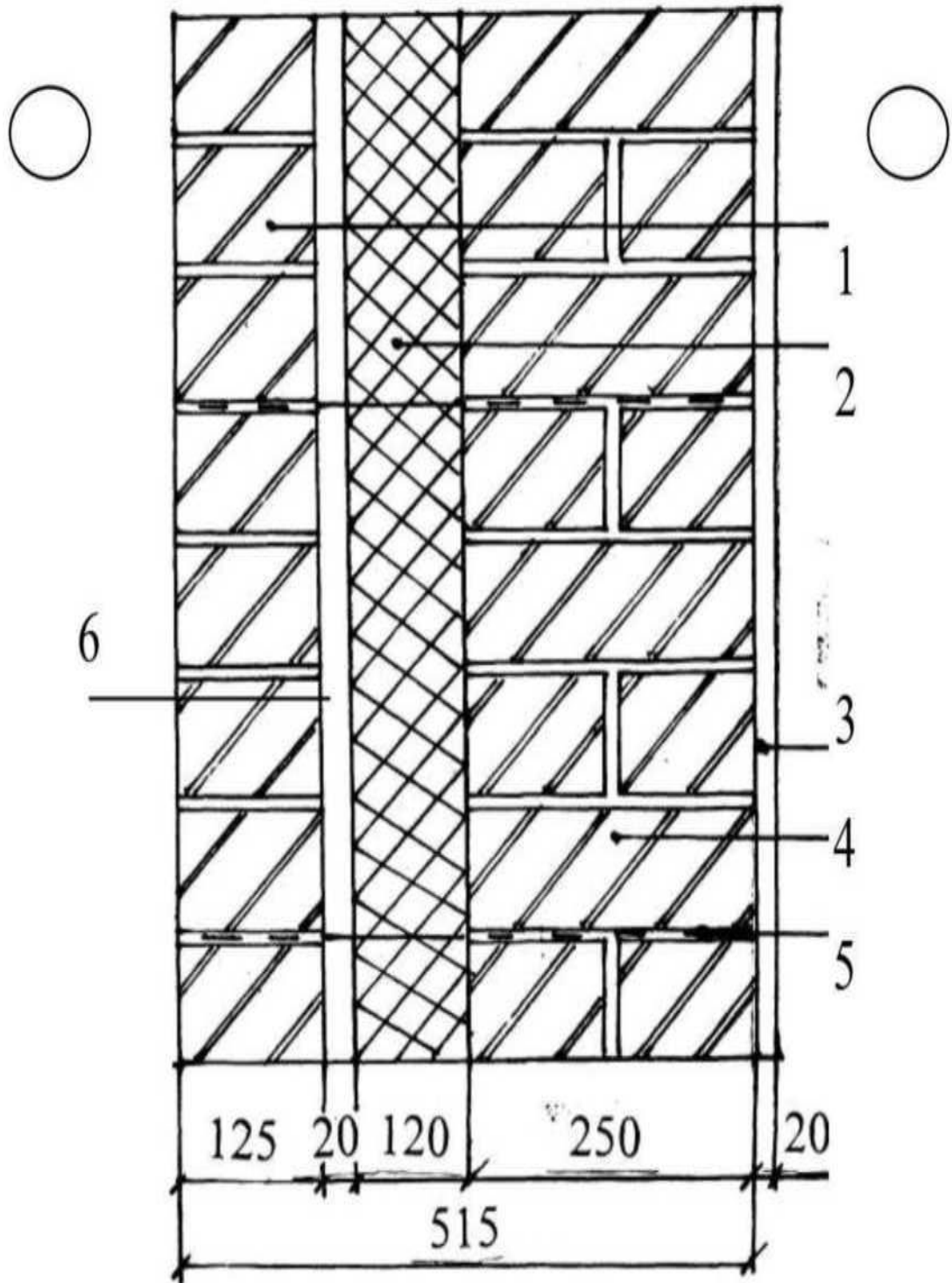


Рисунок 1.28 - Конструктивна схема тришарової стіни з цегли з повітряним зазором: 1 - зовнішня цегляна стіна; 2 – теплоізоляційний матеріал; 3 - внутрішнє оздоблення; 4 - внутрішня несуча цегляна стіна; 5 – гнучкі зв'язки; 6 - вентиляційний зазор

Зовнішня стіна, яка захищає утеплювач від несприятливих зовнішніх впливів і створює обличчя будівлі, споруджується з облицювальної цегли (або блок із штукатурним шаром) із закладенням анкерів у швах кладки.

Вентиляційний повітряний проміжок сприяє висиханню утеплювача, гарантуючи високу якість теплоізоляції. По суті, тришарова стіна з повітряним зазором є вентиляльованим фасадом, тільки роль облицювання тут виконують не листові або плитні матеріали, а зовнішня цегляна стіна.

Представником тришарової конструкції із середнім шаром із листових матеріалів є й індустріальні багатошарові стінові панелі. Сучасне будівництво неможливо уявити без повнозбірного житлового будівництва. Величезна кількість панельних будинків побудовано в усьому світі, зокрема й в Україні. Ставлення до панельних будинків може бути різним, як негативним - через однотипність в архітектурному плані, малу площу квартир тощо, так і навпаки, - позитивне, оскільки завдяки цій технології з'явилася можливість відносно дешево зводити цілі квартали нових житлових будинків. в найкоротші терміни. Для того, щоб відповідати сьогоdnішнім вимогам щодо теплозбереження та комфортних умов, усередині приміщень впроваджуються сучасні технології та нові матеріали.

Стінові панелі на сьогоднішній день – це винятково багатошарові конструкції із застосуванням ефективних теплоізоляційних матеріалів. Для їх виготовлення застосовуються як традиційний залізобетон, так і інші матеріали, серед яких найбільшого поширення набули металеві листові матеріали (панелі типу сендвіч). Розглянемо докладніше ці типи індустріальних стінових панелей.

У науково-дослідному центрі розроблено нову конструкцію зовнішньої стінової залізобетонної панелі, яка складається з трьох шарів: зовнішнього – товщиною 70 мм, внутрішнього – товщиною 80 мм та середнього утеплюючого – товщиною 200 мм, загальна товщина панелі – 350 мм . Цей виріб, що отримав назву «тепла панель», має високі теплофізичні властивості (опір теплопередачі такої панелі становить 3,6-3,8 м² °С /Вт). По

статичній роботі зовнішні «теплі панелі» - несучі. Навантаження від вищерозташованих поверхів сприймається лише внутрішнім бетонним шаром.

Зовнішній та внутрішній шари панелі виконуються з важкого бетону, що ущільнює шар із плит полістирольного пінопласту типу ПСБ-С марки 25-35 за ДСТУ Б EN 13163:2012. З'єднання шарів здійснюється дискретними зв'язками: як монолітних бетонних армованих шпонок, що утворюються в процесі виготовлення панелей.

Відомі на російському ринку тришарові залізобетонні панелі фірми PARASTEK BETON (Фінляндія). Сучасні залізобетонні панелі виготовляються як повнозбірні конструкції (з'єднання шарів проводиться в процесі виготовлення на заводі, на будмайданчику монтаж панелі здійснюється як готового стінового елемента), так і збірні - монтаж здійснюється установкою кожного шару окремо.

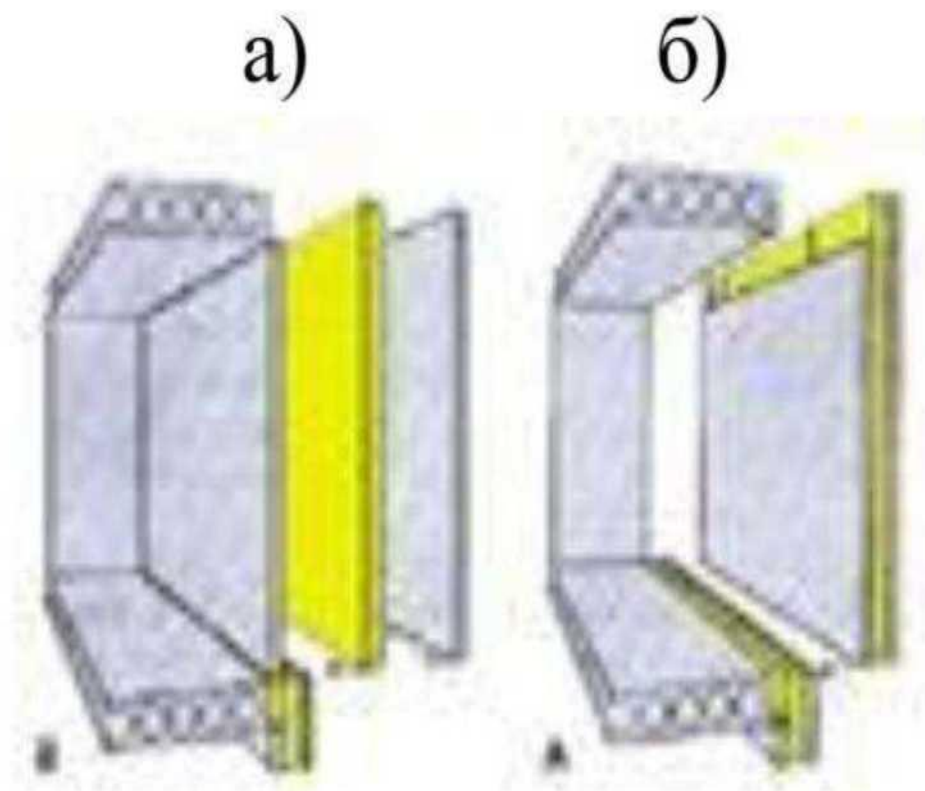


Рисунок 1.29 - Тришарова залізобетонна панель: а-збірна панель; б-повнозбірна

Конструкції тришарових залізобетонних панелей, виготовлених на заводі, відрізняються економічністю у швидкості будівництва та монтажу, а також меншою залежністю від погодних умов. Мобільні опалубки можуть змінюватися для виготовлення панелей різних розмірів і форм, що відповідає потребам кожного конкретного проекту будівлі.

Зовнішній шар панелі призначений для захисту в експлуатації основних шарів від зовнішніх кліматичних впливів і виконання декоративних функцій. Тришарові залізобетонні панелі випускаються з різними фактурними оздобленнями.

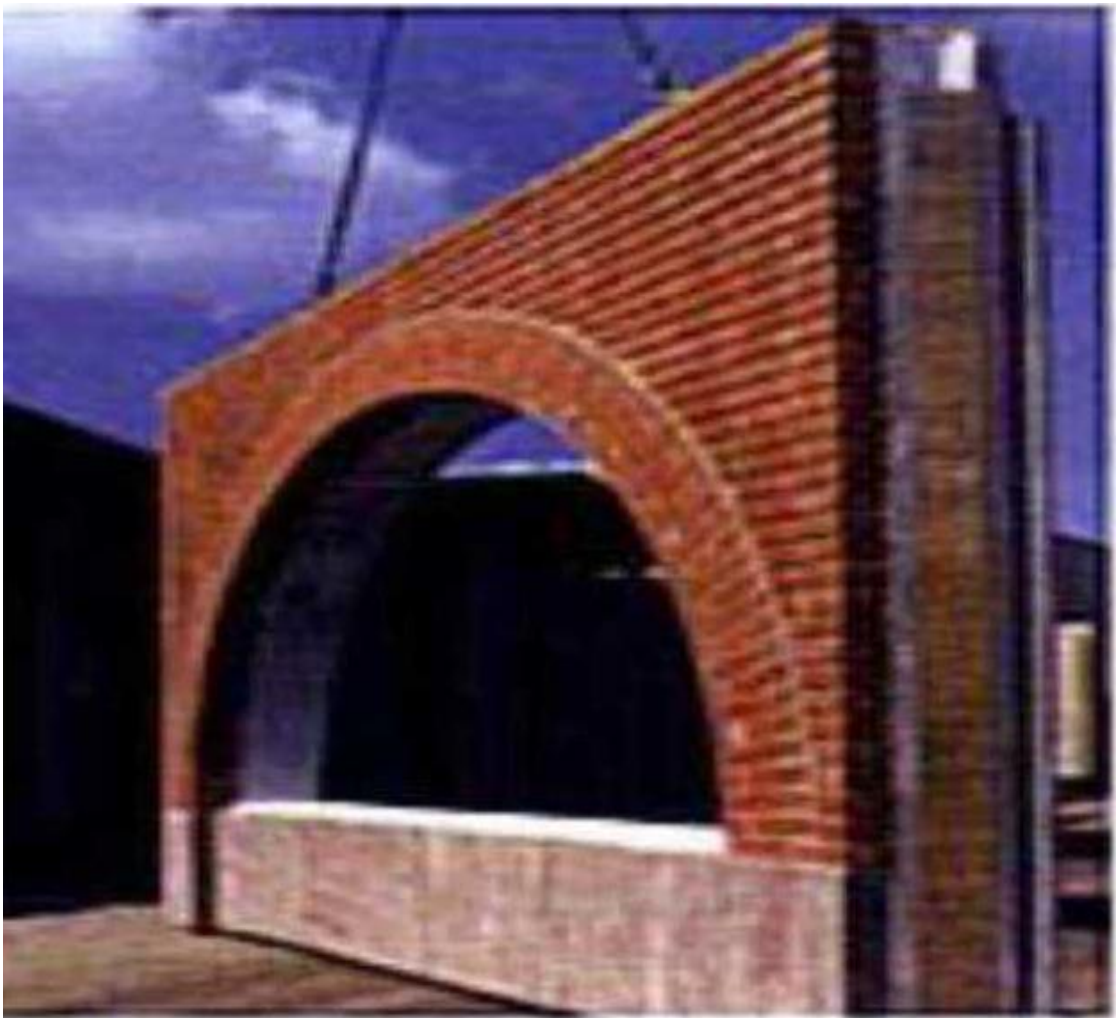


Рисунок 1.30 - Тришарова залізобетонна панель фірми PARASTEK BETON (Фінляндія) із зовнішньою обробкою «під цеглу»

Нещодавно на російському ринку з'явилися вентилявані фасадні залізобетонні панелі, які є повнозбірними тришаровими конструкціями з повітряним проміжком між теплоізоляційним і зовнішнім шарами. Існує також спосіб зведення залізобетонних вентиляваних фасадів з використанням одношарових залізобетонних панелей та теплоізоляційної плити. В цьому випадку основою може бути стіна з будь-якого конструкційного матеріалу (у тому числі і із залізобетонних панелей), до якої кріпиться шар теплоізоляції, залишається повітряний проміжок товщиною не менше 30 мм і встановлюється зовнішня залізобетонна плита.

Стінові сендвіч - панелі - високоефективні будівельні матеріали. Вони є тришаровою конструкцією, що складається з утеплювача, розташованого посередині, і двох облицювальних листів.

Стінові панелі «сендвічі» є самонесучими навісними конструкціями. Їх застосовують при будівництві промислових, адміністративних будівель, спортивних споруд, що зводяться за каркаснопанельною схемою, коли несучі конструкції будівлі виконані з металевих, залізобетонних, дерев'яних та клеєдерев'яних елементів. Широке застосування сендвіч-панелі знайшли для будівництва об'єктів автосервісу, мийок, автозаправних станцій, складських приміщень. Підходять вони і для будівництва в сейсмічних районах як несучі елементи конструкцій.

"Сендвіч - панелі" можуть бути заводського виготовлення або збиратися прямо на об'єкті, так звані панелі "поелементного складання".

Найбільшого поширення нашій країні отримали панелі заводського виготовлення. На зовнішній та внутрішній поверхнях можуть застосовуватися різні метали, наприклад, алюміній та сталь. Застосовуються металеві листи як гладкі, так і профільовані. Як утеплювач можуть застосовуватися мінеральна вата, пінополістирол, пінополіуретан. Для забезпечення міцного з'єднання облицювання та утеплювача використовується високоякісний клей на поліуретановій основі.

Застосування «сендвіч - панелей» з ефективним утеплювачем є

перспективним, оскільки забезпечує: швидкий монтаж, малі витрати на капітальне будівництво (завдяки невеликій вазі панелей для монтажу не потрібна спеціалізована техніка, потрібен полегшений фундамент), можливість демонтажу, багатий вибір обробки та колірний гама. Одними з безперечних переваг «сандвіч - панелей» є їхня висока міцність, вологостійкість, вогнестійкість, висока звукоізоляційна здатність, наявність антикорозійного покриття.

Однак слід зазначити, що панелі слабо захищені від механічних впливів, оскільки мають як зовнішній шар, як правило, металевий лист товщиною 0,5-1 мм. Крім того, такі стіни практично паронепроникні, мають меншу теплову інерцію, нижчу звукоізоляцію від повітряного шуму в порівнянні з цегляними стінами, що знижує рівень комфортності всередині будівлі.

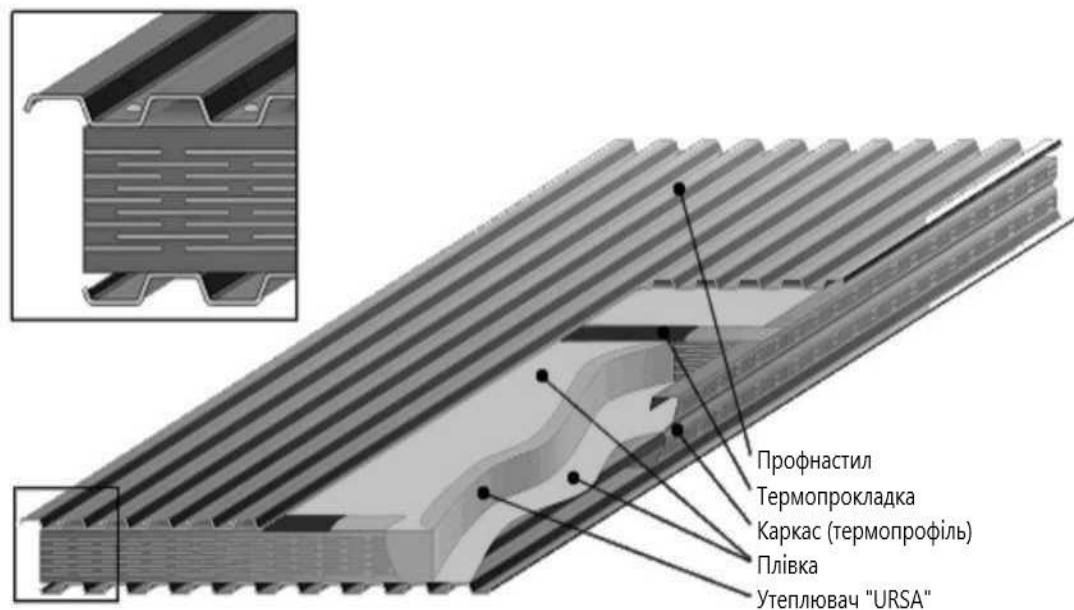


Рисунок 1.31 - Конструкція «сандвіч - панелі»

Найбільш відомі типи «сандвіч – панелей»: українського виробництва – «ТПК», «АлюТерм», «НТК», «КТ-Сталь» та ін.; зарубіжного виробництва - "Isowall" (Англія), "Parok", "Rannila" (Фінляндія) та ін.

Другий тип тришарової конструкції з кладкою з штучних матеріалів -

колодязева кладка була розроблена та запропонована у 20-ті роки минулого століття інженером А.І. Герардом, але широкого застосування не знайшла через відсутність ефективного утеплювача.

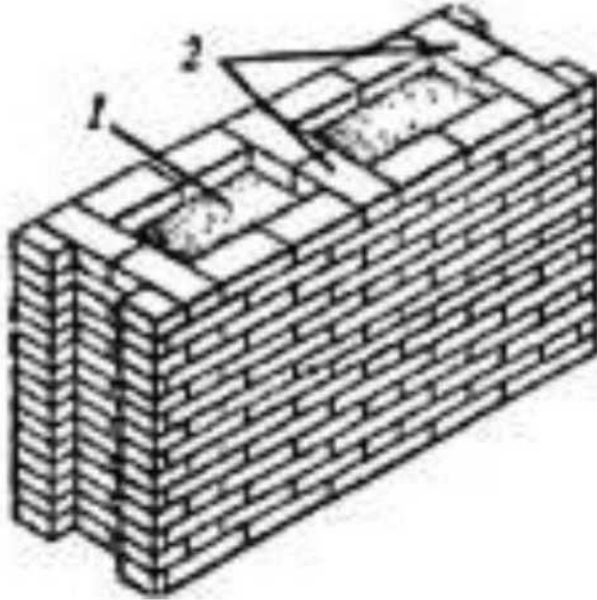


Рисунок 1.32 - Фрагмент кладки колодязя: 1-утеплювач; 2 діафрагми цегли (жорсткі зв'язки)

Суть такої кладки полягає в тому, що стіну фактично викладають із двох самостійних стінок товщиною в півцегли, з'єднаних між собою вертикальними та горизонтальними цегляними містками (жорсткими зв'язками) з утворенням замкнутих колодязів. Криниці по ходу кладки заповнюють шлаком, керамзитом, легким бетоном або заливальним пінопластами.

Внутрішній шар стіни може бути виконаний із цегли або блоків (бетонних, керамзитобетонних, шлакобетонних, гіпсобетонних, газосилікатних тощо). Для лицьового шару можуть застосовуватися цегла або каміння керамічна лицьова, добірна стандартна цегла, силікатна цегла, а також бетонна лицьова цегла.

Характерною особливістю цегляної кладки є її велика інерційність. Цегляна стіна довго прогрівається і так само повільно остигає.

Переваги системи з утеплювачем всередині огорожувальної

конструкції:

1. Монтаж системи може проводитись за негативної температури.
2. Порівняно невелика товщина.
3. Теплоізоляційний шар захищений від дощу та вітру.
4. Вогнестійкість (стіни з облицюванням з цегли можна застосовувати в будинках будь-якого ступеня вогнестійкості).
5. Досить недорогий спосіб зведення огорожувальної конструкції.

Недоліки:

1. Під огорожувальні конструкції потрібен об'ємний та дорогий фундамент.
2. Наявність «містків холоду».
3. Конденсація вологи між зовнішньою та внутрішньою стінками на теплоізоляційному матеріалі та на внутрішній поверхні зовнішньої стінки, що призводить до зниження термічного опору огорожувальної конструкції та її прискореної амортизації.
4. Спеціальні вимоги пред'являються до утеплювача, оскільки у разі ремонтно-відновлювальні роботи неможливі. Основними з цих вимог є стійкість до деформацій та вологостійкість.
5. Висока трудомісткість зведення конструкцій.
6. Недостатня вивченість поведінки утеплювачів усередині огорожувальної конструкції під впливом різних факторів.

За розрахунками перехід на нові теплотехнічні вимоги призведе до невеликого подорожчання стін будівель - на 0,5 - 1,5 %, зате економія тепла складе 30 - 35 %. За рахунок економії тепла збільшення одноразових витрат на будівництво окупиться протягом 7 – 8 років.

1.4 Сэндвич-панели у будівництві і реконструкції будівель

Сэндвич-панели застосовують при будівництві і реконструкції виробничих будівель, спортивних і сільськогосподарських споруд,

складських приміщень, торгових центрів і різних комплексів в якості стінних і покрівельних конструкцій.

Сендвіч має ряд переваг:

Споруди з сендвіч панелей мають велику кількість позитивних сторін. Безпосередньо вони вважаються головними для застосування безпосередньо подібних будівель у промислових та практичних цілях.

Невеликий перелік позитивних якостей можна описати як:

- терміни будівництва мінімальні, у споруд немає усадки, будівля пермоментно вводиться в експлуатацію;
- довговічність будівель близько 50 років;
- витрати на перевезення суттєво знижені: панелі мають незначну масу, це вважається окремою перевагою при оперуванні конструктивами на будівельному майданчику;
- у багатьох варіантах не потрібно повторне оздоблення - панелі вже пофарбовані, зовнішній вигляд прийнятний.

У сендвіч панелей присутні недоліки:

- Міцність стін мала в порівнянні з традиційними використовуваними матеріалами, цеглою і бетоном.
- Постійно є загроза порушення герметичності даху та стінок. За станом швів необхідно регулярно спостерігати.
- панелі герметини. Необхідна додаткова робоча система кондиціонування (прівітрювання) - Неможливо створити споруду зі складною, мистецькою архітектурою.

Порівняння панелей сендвіч з іншими матеріалами:

Трудові витрати, чол/год:

- панелі сендвіч – 17;
- цегляна кладка – 48;
- залізобетонні панелі – 7;

Маса, т:

- панелі сендвіч – 0,4;

- цегляна кладка – 14;
- залізобетон – 6,5;

Фундамент для сендвіч панелей виконується у легкому варіанті, тоді як для цегли та залізобетону – у важкому. Щодо вторинного використання: лише панелі дають таку можливість. Як видно з наведених вище даних, сендвіч панелі за багатьма технічними, економічними та енергоємними характеристиками перевершують як цеглу, так і залізобетон. Одним з основних позитивних сторін сендвіч панелей є їх теплоізоляційні характеристики, практично не мають собі рівних. Для того, щоб створити подібну теплопередачу, як сендвіч панель в 10 см шириною, різноманітні будівельні матеріали повинні мати наступну товщину (см): - цегла силікатна - 224. - газопінобетон - 60; - залізобетон – 340; - цегла глиняна-102; - шлакобетон – 94; - керамзитобетон - 132. Проаналізувавши ринок виробників клеєного бруса було визначено два варіанти огорожувальних конструкцій із клеєного бруса. Оскільки клеєний брус відрізняється від звичайного дерева нижчою теплопровідністю, його товщина при будівництві може бути меншою, ніж у зроблених з колод стін.

Для комфортного проживання у зимовий період клеєний брус повинен мати товщину 240 мм. Тому було запропоновано такі варіанти огорожувальних конструкцій.

1.5 Висновки по розділу

Розглянувши на основі досвіду реконструкції та капітального ремонту основні тенденції застосування огорожувальних конструкцій промислових будівель найоптимальнішим, швидкокомтованим та економічно доцільним є рішення щодо використання сендвіч панелей.

РОЗДІЛ 2

МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Теплообмін у повітряному прошарку кріплення сендвіч

Одним із прийомів підвищення опору теплопередачі огорожувальних конструкцій є влаштування замкнутих повітряних прошарків. Ідея доповнення вузла кріплення конструкції будівельного матеріалу конструкцій повітряними прошарками виникла внаслідок невеликих значень коефіцієнта теплопровідності повітря $\lambda=0.025\dots0.027$ Вт/(м^{°С}) стосовно коефіцієнтів теплопровідності матеріалів.

У той же час опір теплопередачі повітряного замкнутого прошарку не може бути завжди визначений як опір теплопровідності повітря. У нашому випадку, у повітряному прошарку тепловий потік передається за рахунок теплопровідності та конвекції (рисунок 2.1). Тобто слід враховувати 2 механізми передачі тепла: механізм кондуктивного перенесення тепло (за рахунок пружних коливань молекул) та механізм конвективного теплообміну. Конвективний теплообмін буде пов'язаний з тим, що гаряча стінка буде нагріватися і внаслідок того, що вона буде нагріватися вздовж гарячої стінки, спостерігатимуться вгору потоки повітря, що йдуть, це означає, що всередині нашої порожнини циркулюватиме повітряний потік, який і призводитиме до конвективного теплообміну. . Величина цього потоку визначатиметься, в першу чергу, тертям повітря по відношенню до стінки, іншими словами, відстанню від однієї стінки до іншої. Тому метою роботи є оцінка впливу конвективної складової повітряного прошарку.

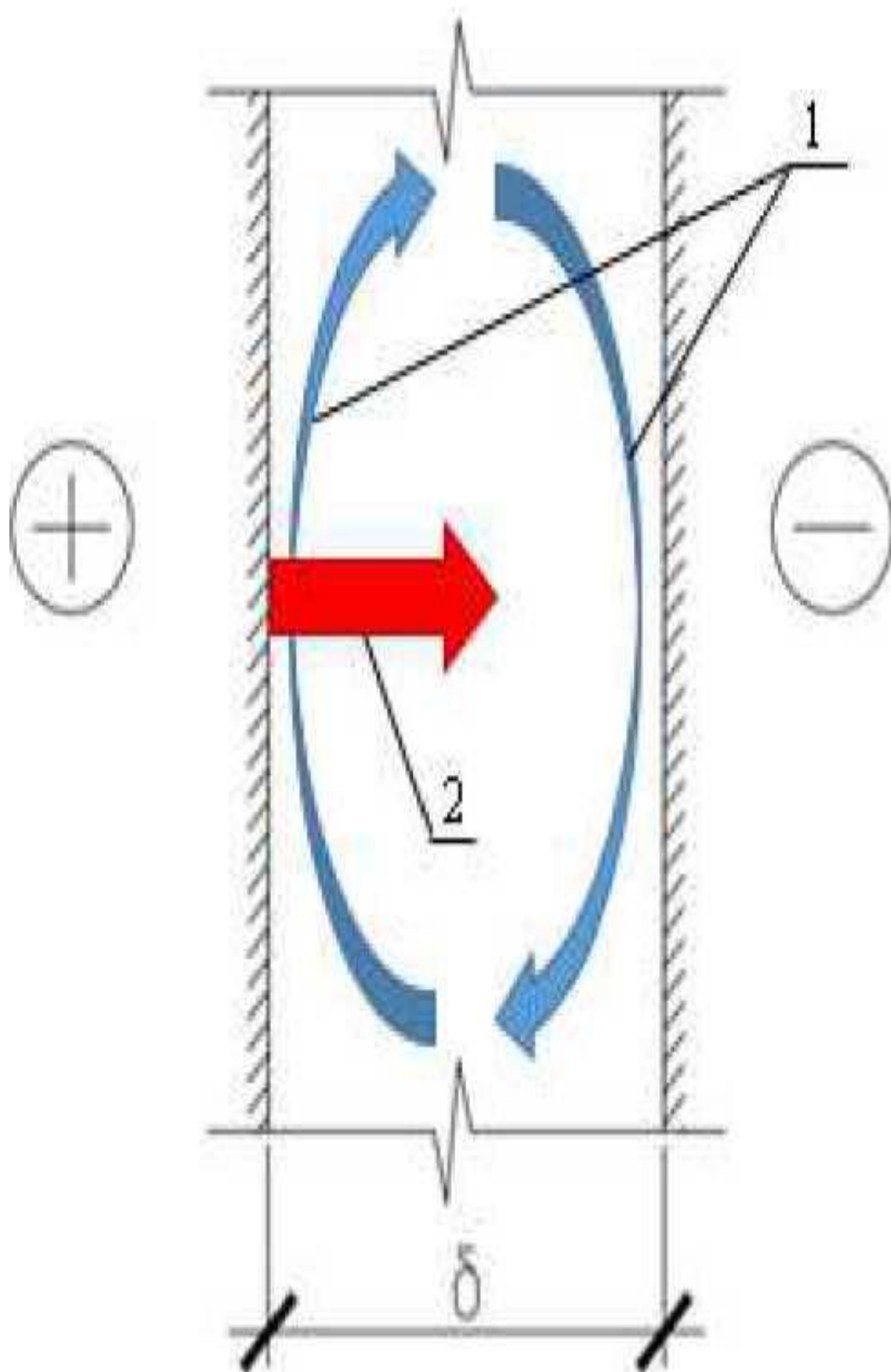


Рисунок 2.1 - Схема передачі тепла через повітряний прошарок:

1 - шляхом конвекції; 2 - шляхом теплопровідності

2.2 Математична модель

Оцінка ефективності використання може бути проведена шляхом вирішення задачі тепломасообміну, що включає спільне рішення рівнянь теплопровідності, дифузії і Нав'є-Стокса. Наявність рівняння Нав'є-Стокса практично завжди ускладнює математичну модель. Для спрощення математичної задачі доцільно використовувати різноманітні спрощення. Найбільш простим із яких є модель турбулентності $k-\epsilon$.

Основним параметром, що впливає процес тепломасообміну в даних умовах, є швидкість повітряного потоку в каналі, з обов'язковим введенням повітряного зазору між двома брусами. При цьому циркуляція повітря в каналі може здійснюватися як у процесі природної конвекції через температуру, так і в процесі вимушеної конвекції за наявності спеціальних пристроїв, розгляд яких виходить за рамки поставленого завдання. У той же час варіюючи товщину повітряного зазору, а отже, і швидкість повітряного потоку, можна керувати тепломасообміном, змінюючи тепловий опір і швидкість випадання конденсату.

Інтенсивність випадання конденсату визначається зовнішньою температурою, що нижча, тим інтенсивність вище. Відповідно, що розглядається завдання доцільно вирішувати в екстремальних погодних умовах (температура найбільш холодної п'ятиденки), відповідно.

Для вирішення поставленої задачі скористаємося наступною системою рівнянь (2.1):

$$\left\{ \begin{array}{l}
 \left(\frac{\partial}{\partial x} \lambda \frac{\partial T}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} \lambda \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \rho C_p (\vec{u} \nabla T) = 0 \\
 \left(\frac{\partial}{\partial x} \mu \frac{\partial e}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} \mu \frac{\partial e}{\partial y} \right) + (\vec{u} T e) = 0 \\
 E = 1.84 * 10^{11} \exp \left(\frac{-5330}{T} \right) \\
 \varphi = \frac{e}{E} 100\% \\
 p(u \nabla u) = \nabla [-pl + (n + n_T)(\nabla u + (\nabla u)^T)] + F \\
 \nabla u = 0
 \end{array} \right. \quad (2.1)$$

де λ – коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м град);

T - температура, К;

μ - коефіцієнт паропроникності, кг/(смПа);

E - тиск насиченої водяної пари, Па;

φ - відносна вологість %;

e - парціальний тиск водяної пари, Па;

u - вектор швидкості, м/с;

p - тиск, Ра;

n - динамічна в'язкість, Па с;

F - поле зовнішніх сил, Н/м³;

k - кінетична енергія об'єму, Дж/м³.

У цьому рівнянні є кондуктивні члени, які відповідають за перенесення тепла, кондуктивні члени, які відповідають за перенесення вологи, а також конвективні члени, що відповідають за перенесення вологи. Завдання для конвективного члена вирішувалося тільки для повітряного прошарку.

Для повного опису завдання в сукупності з диференціальним рівнянням були задані умови однозначності.

2.3 Умови однозначності

Диференціальні рівняння описують процес теплопровідності у найзагальнішому вигляді. Щоб розв'язати конкретне завдання, потрібно диференціальне рівняння доповнити математичним описом всіх окремих особливостей поставленої задачі, тобто дати її однозначний опис.

Ці особливості називаються умовами однозначності, або крайовими умовами.

Умови однозначності включають:

1. геометричні умови, що описують форму та розміри тіла, в якому протікає процес;
2. фізичні умови, що характеризують фізичні властивості тіла;
3. граничні умови, що характеризують взаємодію навколишнього середовища з поверхнею тіла.

2.4 Геометричні умови, що описують форму та розміри тіла, в якому протікає процес

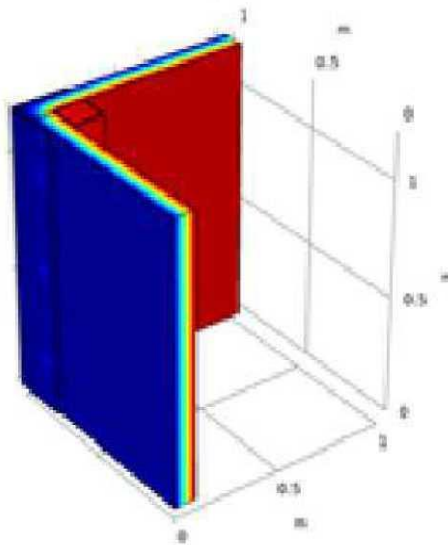
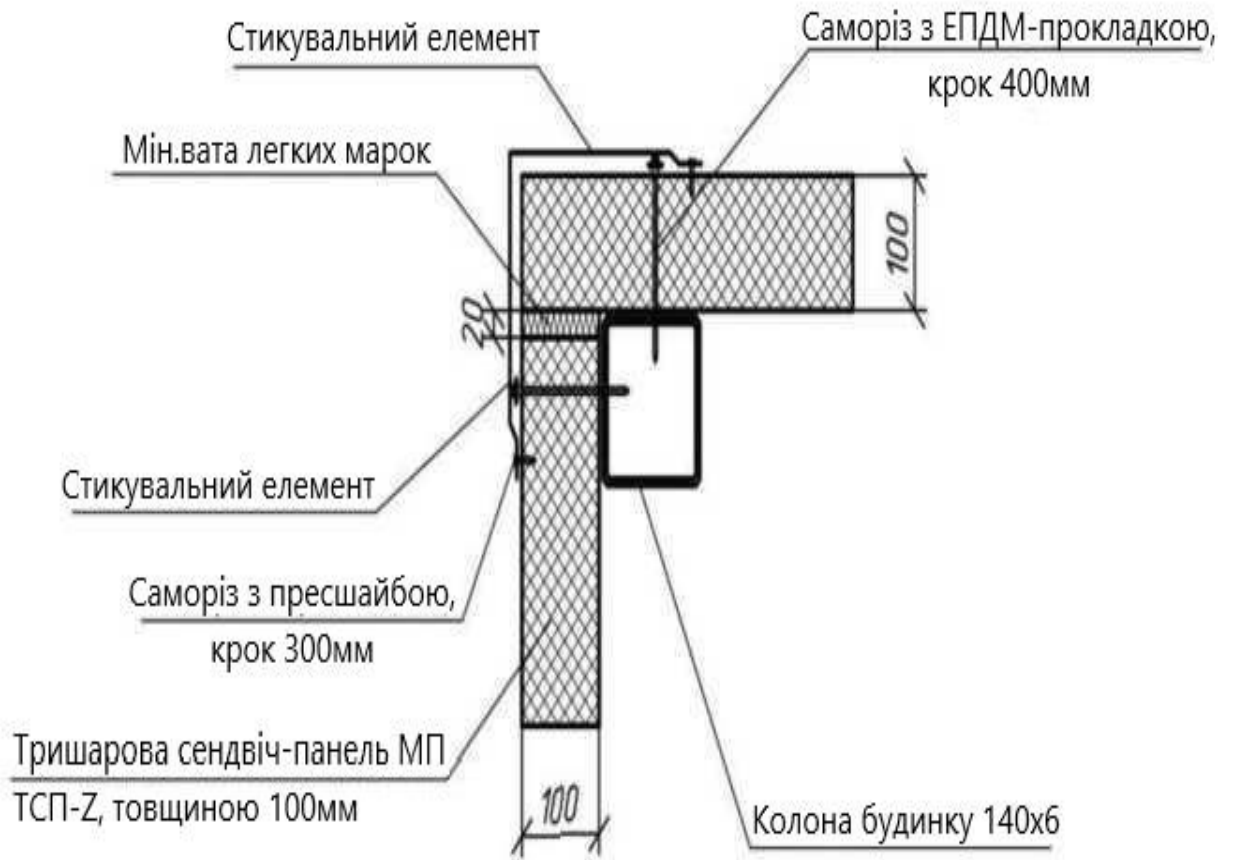
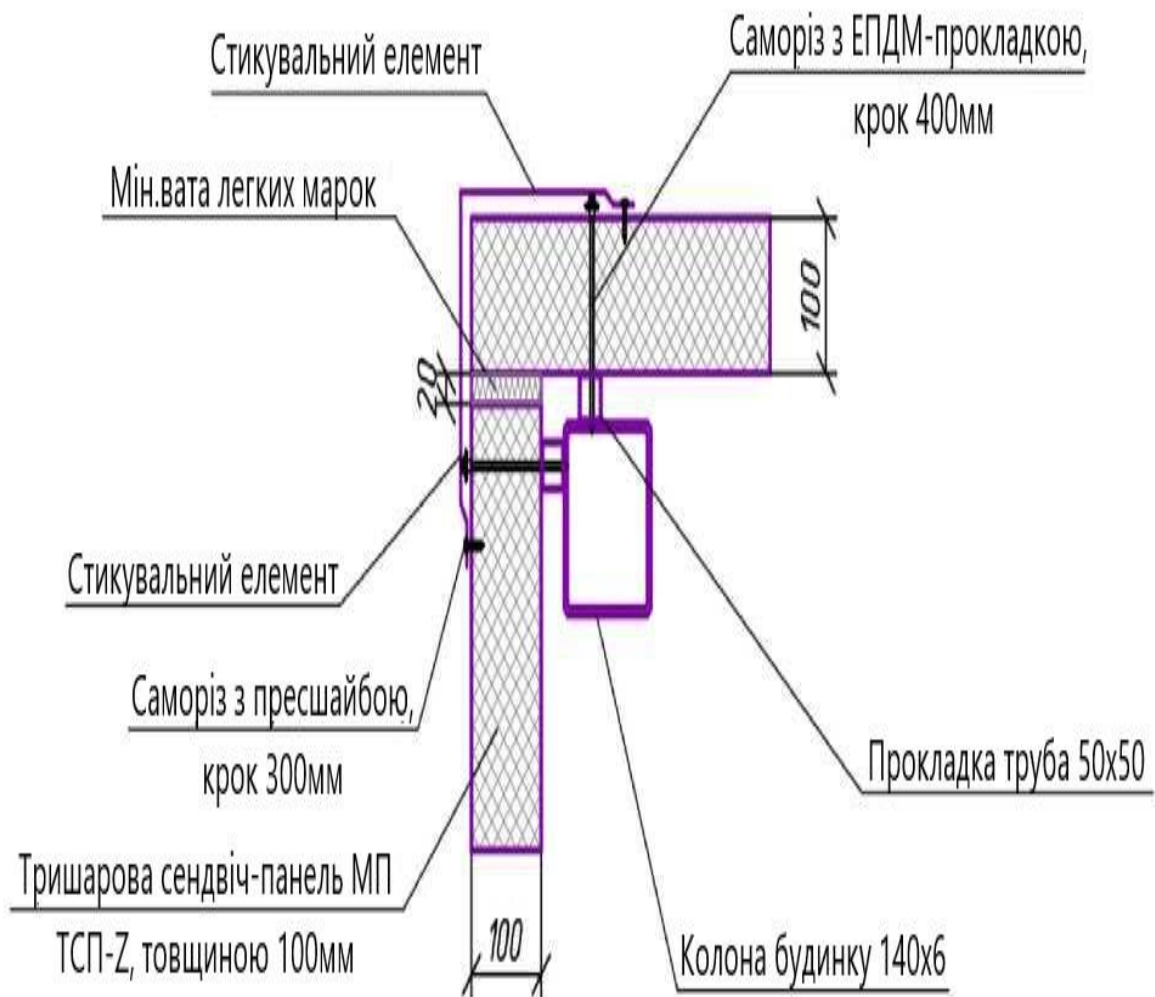


Рисунок 2.1 - Огороджувальна конструкція із сендвіч панелі 100 мм

Таблиця 2.1 - Розрахункові теплотехнічні характеристики матеріалів стіни

Номер шару	Матеріал	Товщина шару, δ , мм	Щільність, ρ , кг/м ³	Коефіцієнт теплопровідності, λ , Вт/(м ⁰ С)
1	Сендвіч панель 100 мм	100	180	0,045



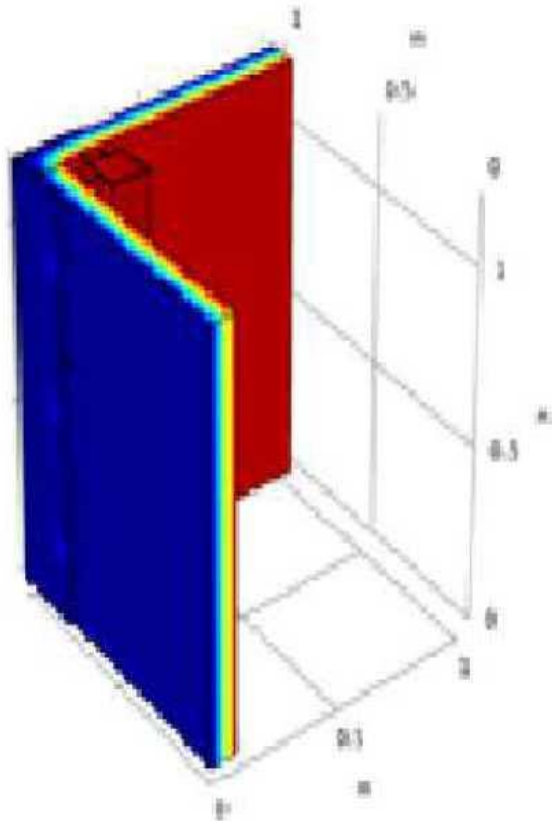


Рисунок 2.2 - Огороджувальна конструкція із сендвіч панелі 100 мм по металевому каркасу 50x50x5 мм

Таблиця 2.2 - Розрахункові теплотехнічні характеристики матеріалів стіни

Номер шару	Матеріал	Товщина шару, δ , мм	Щільність, ρ , кг/м ³	Коефіцієнт теплопровідності, λ , Вт/(м ² ·°С)
1	Сендвіч панель 100 мм	100	180	0,045
2	Каркас металевий 50x50x5мм	50	7850	58

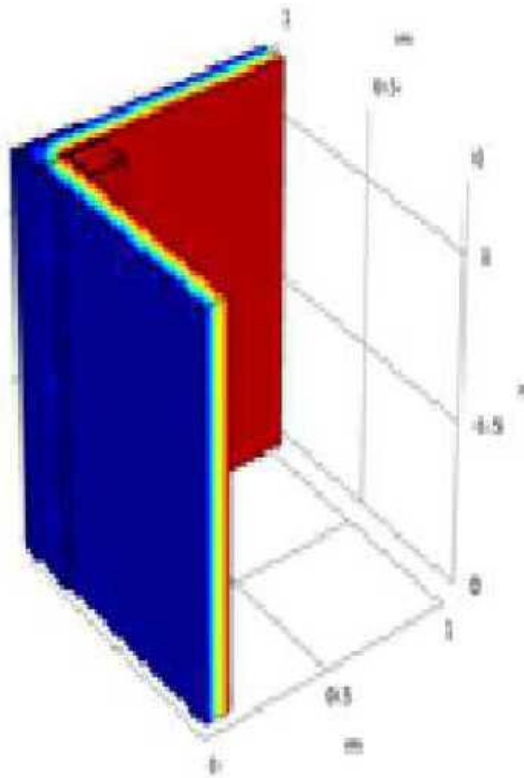
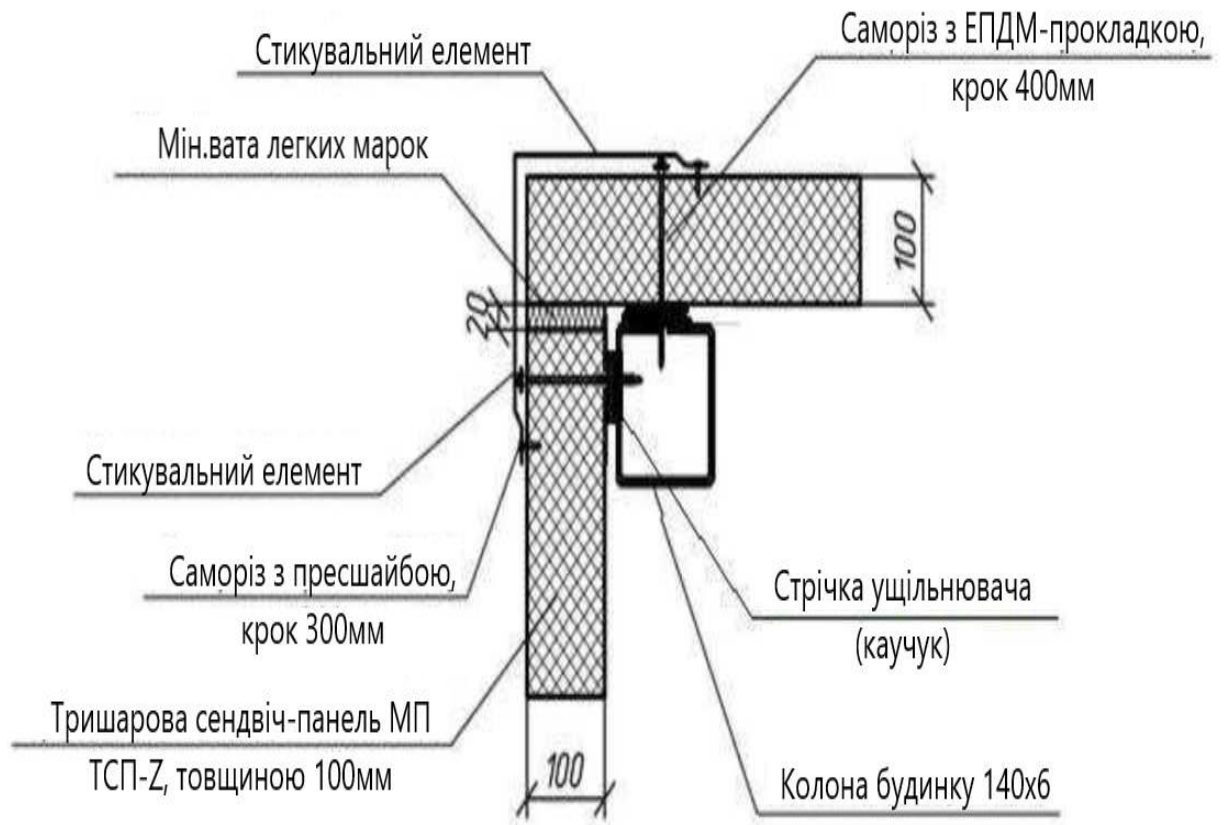


Рисунок 2.3 - Огороджувальна конструкція із сендвіч панелі 100 мм по ущільнювальній стрічці

Таблиця 2.3 - Розрахункові теплотехнічні характеристики матеріалів стіни

Номер шару	Матеріал	Товщина шару, δ , мм	Щільність, ρ , кг/м ³	Коефіцієнт теплопровідності, λ , Вт/(м ² ·°C)
1	Сендвіч панель 100 мм	100	180	0,045
2	Стрічка (каучук) ущільнювач	5	1190	0,159

2.4 Висновки по розділу

В рамках роботи запропоновано розглянути три варіанти кріплення сендвіч-панелі до металевої труби.

Виконати чисельні дослідження, які допоможуть визначити який вузол допоможе зменшити можливість виникнення:

1. Утворення "містка холоду";
2. Зниження температури повітря в приміщенні при стабільно працюючій системі опалення;
3. Поява конденсату;
4. Поява плісняви та грибка;
5. Корозія металевих елементів;
6. Зниження довговічності конструкцій.

1) Найкращим способом проаналізувати роботу конструкцій у реальних умовах є виконання розрахунку досліджуваної конструкції у програмному комплексі з додатком реального перебігу температур.

2) COMSOL Mutiphysics - одне із програмних комплексів, дозволяють

виробляти моделювання процесів тепломасопередачі, як і статичному, і динамічному режимі, і розраховувати температурні поля, градієнти температур; щільності теплових потоків

РОЗДІЛ 3

РЕЗУЛЬТАТИ ЧИСЕЛЬНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

3.1 Температурні характеристики

Розв'язання задачі розподілу температурних полів у матеріалі зводиться до розв'язання системи рівнянь, представленої у п. 2.2, розділу 2. У проведеному розрахунку були використані теплові характеристики матеріалів (табл. 2.1; 2.2, 2.3). Значення температурних полів у матеріалі в інтервалі робочих температур від -37 до $+17$ °С.

Результати представлені на рисунку 3.1

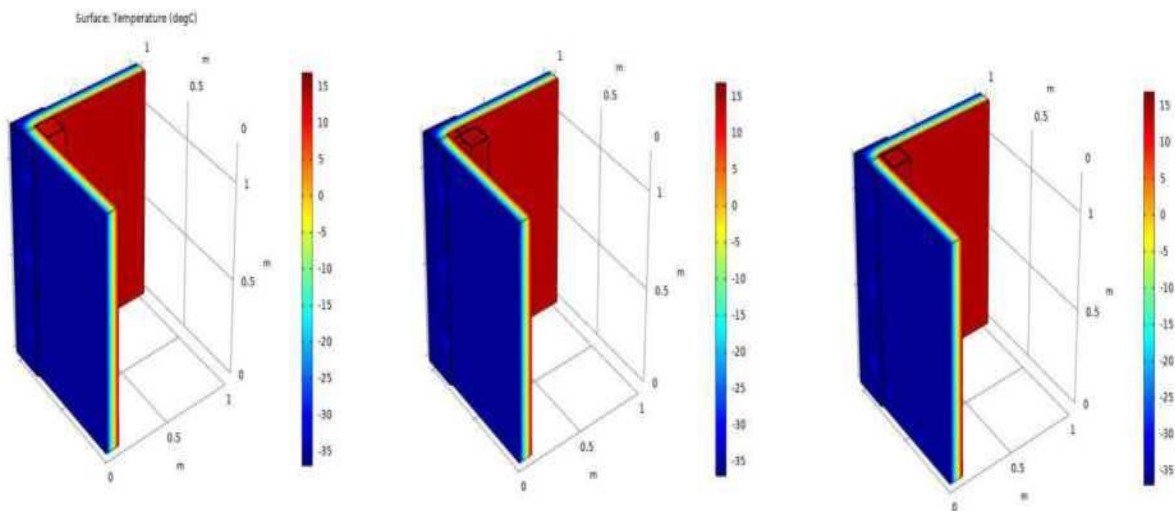


Рисунок 3.1 - Розподіл температурних полів у конструкціях, що розглядаються.

Початкові дані

Таблиця 3.1 - Матеріали

Найменування матеріалу	Щільність, ρ , кг/м ³	Питома теплоємність, C_0 , кДж/(кг ⁰ С)	λ , Вт/(м ⁰ С)
Мінераловатні плити з кам'яного волокна	180	0,84	0,045
Сталь	7850	0,482	58
Каучук	1190	1,84	0,159

Граничні умови:

$$T_{\text{int}} = 17 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_{\text{ext}} = -37 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\alpha_{\text{int}} = 8,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{ }^{\circ}\text{C})$$

$$\alpha_{\text{ext}} = 23 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{ }^{\circ}\text{C})$$

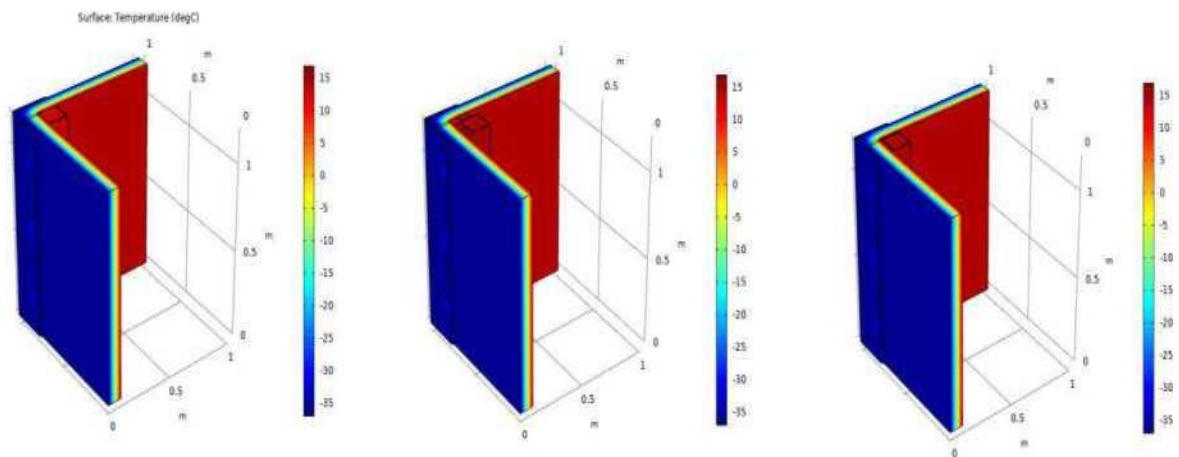


Рисунок 3.2 - Загальний вигляд

Ізополя по перерізу

Вузол 1

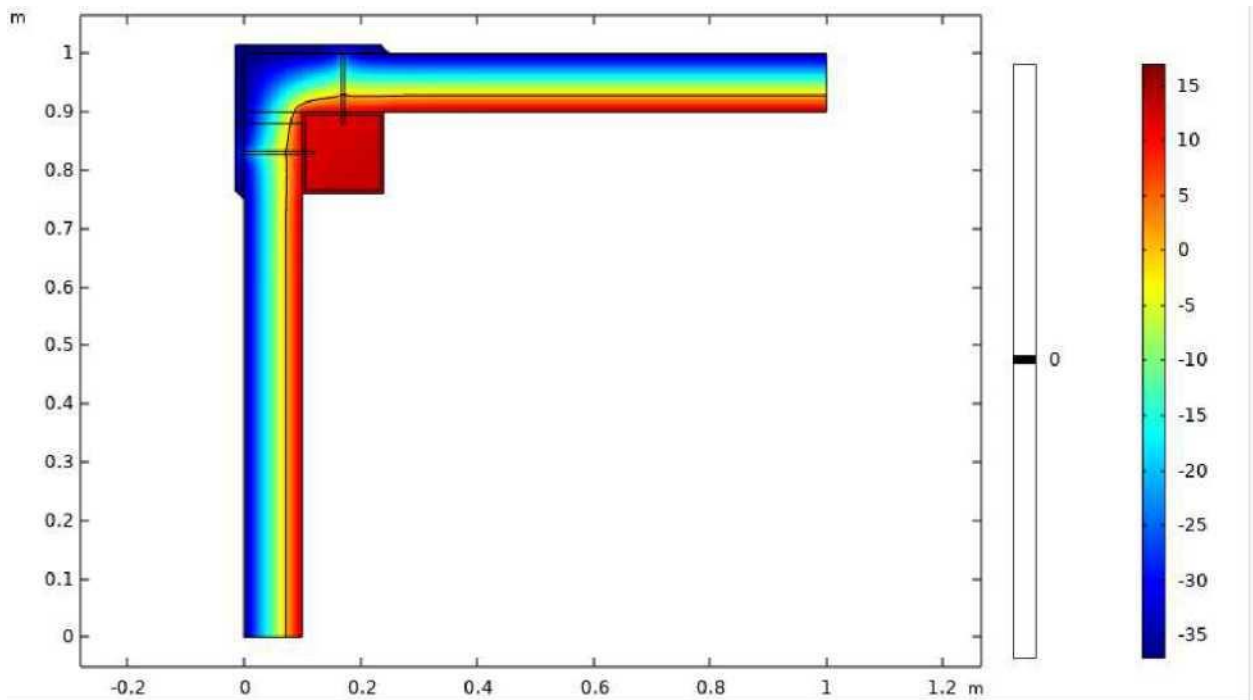


Рисунок 3.3 - Переріз за великим анкером у вузлі 1

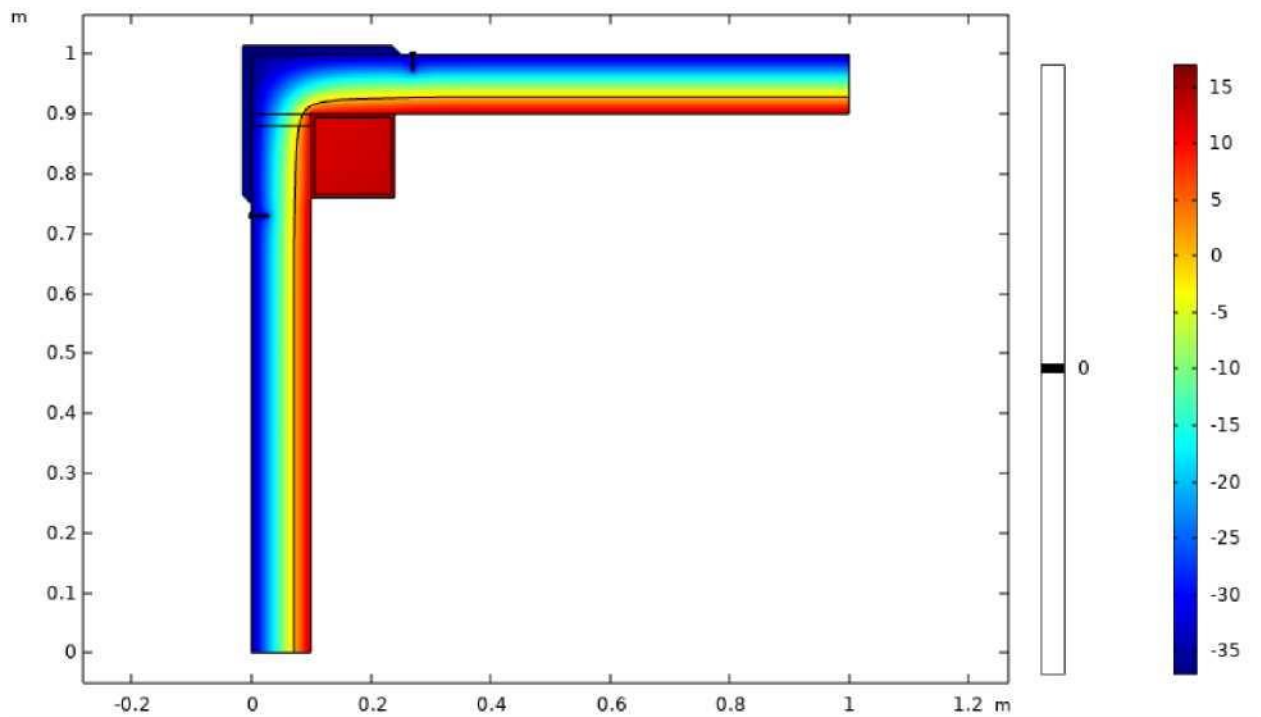


Рисунок 3.4 - Переріз по заклепці у вузлі 1

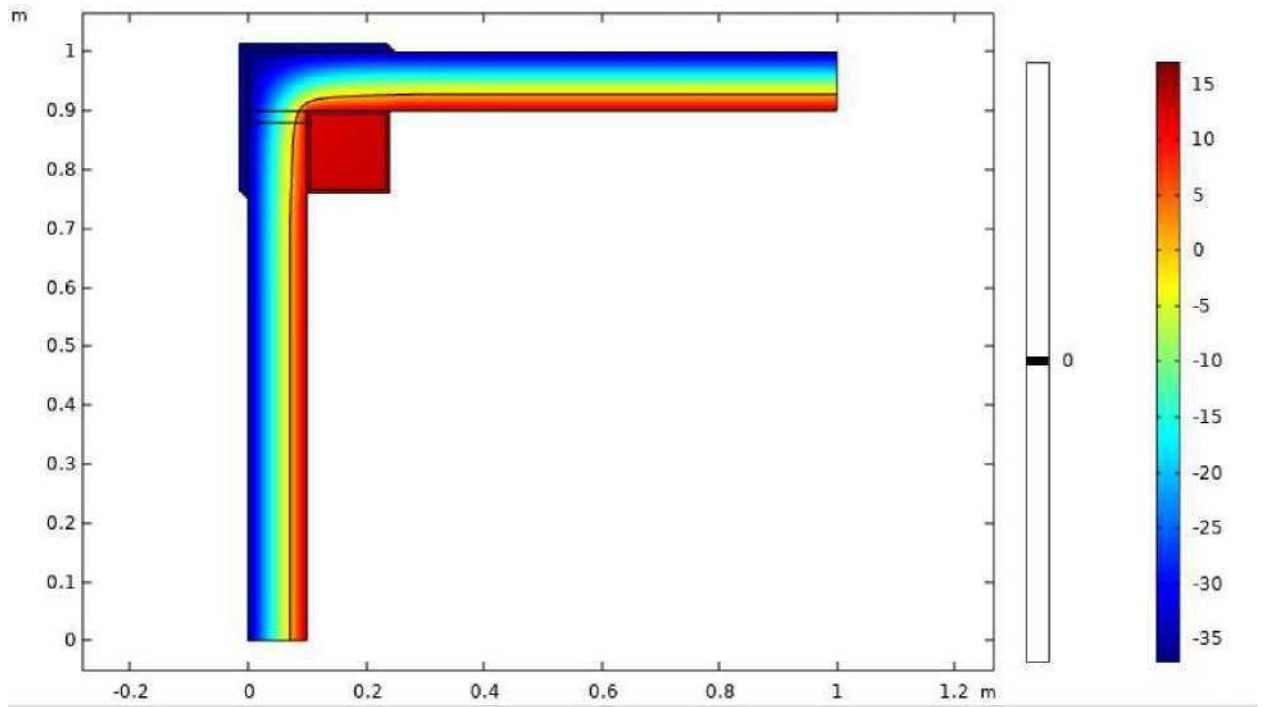


Рисунок 3.5 - Переріз без кріплень у вузлі 1

Вузол 2

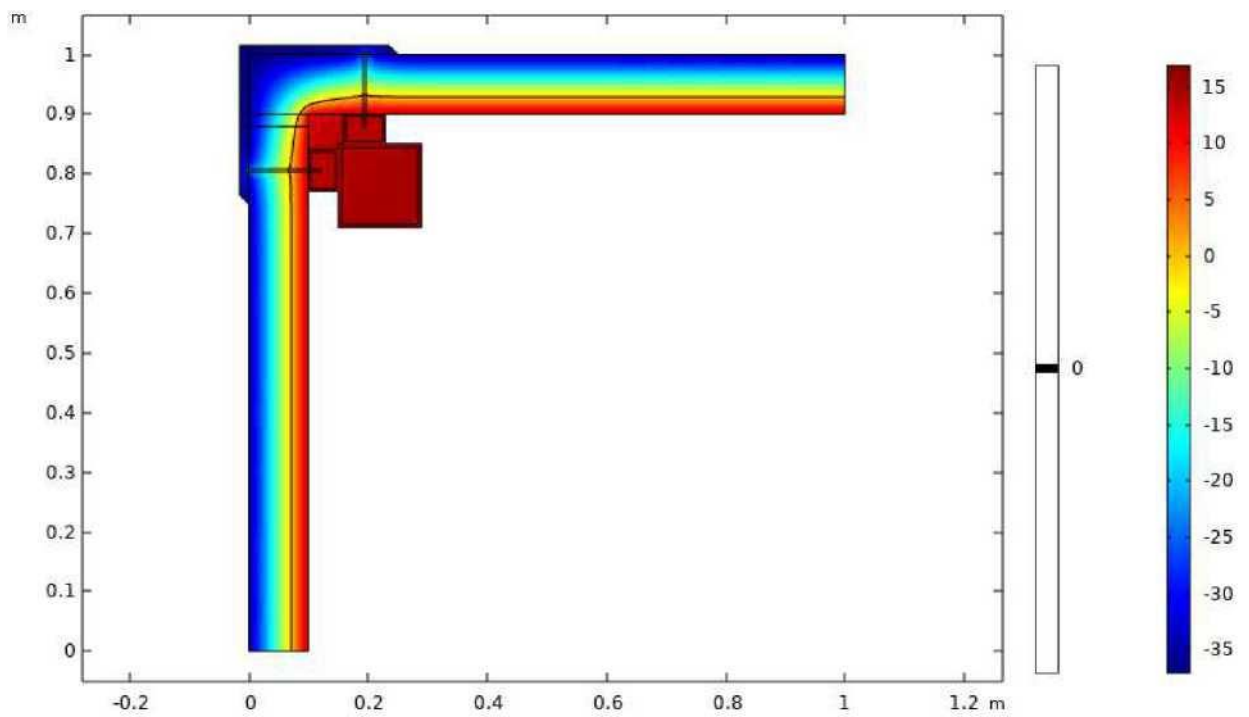


Рисунок 3.6 - Переріз за великим анкером у вузлі 2

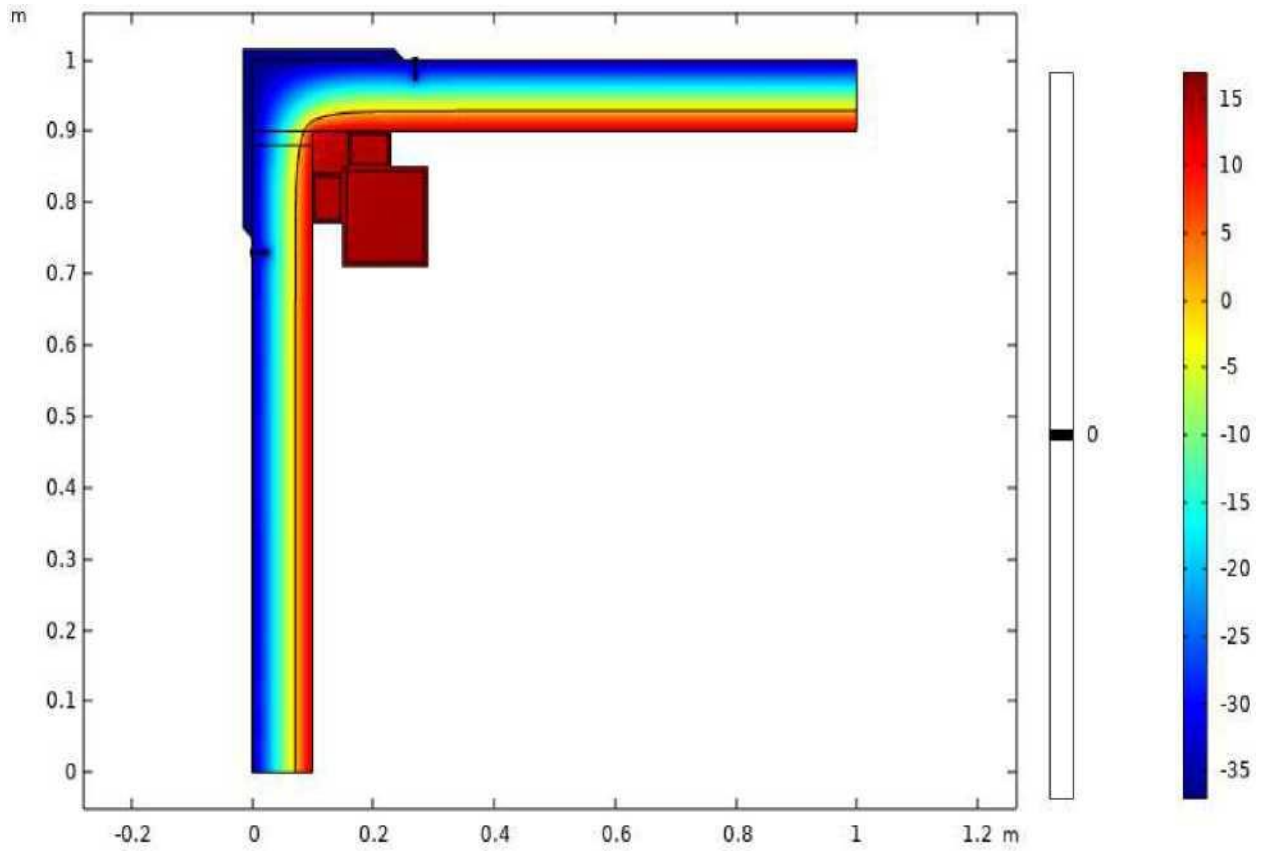


Рисунок 3.7 - Переріз по заклепці у вузлі 2

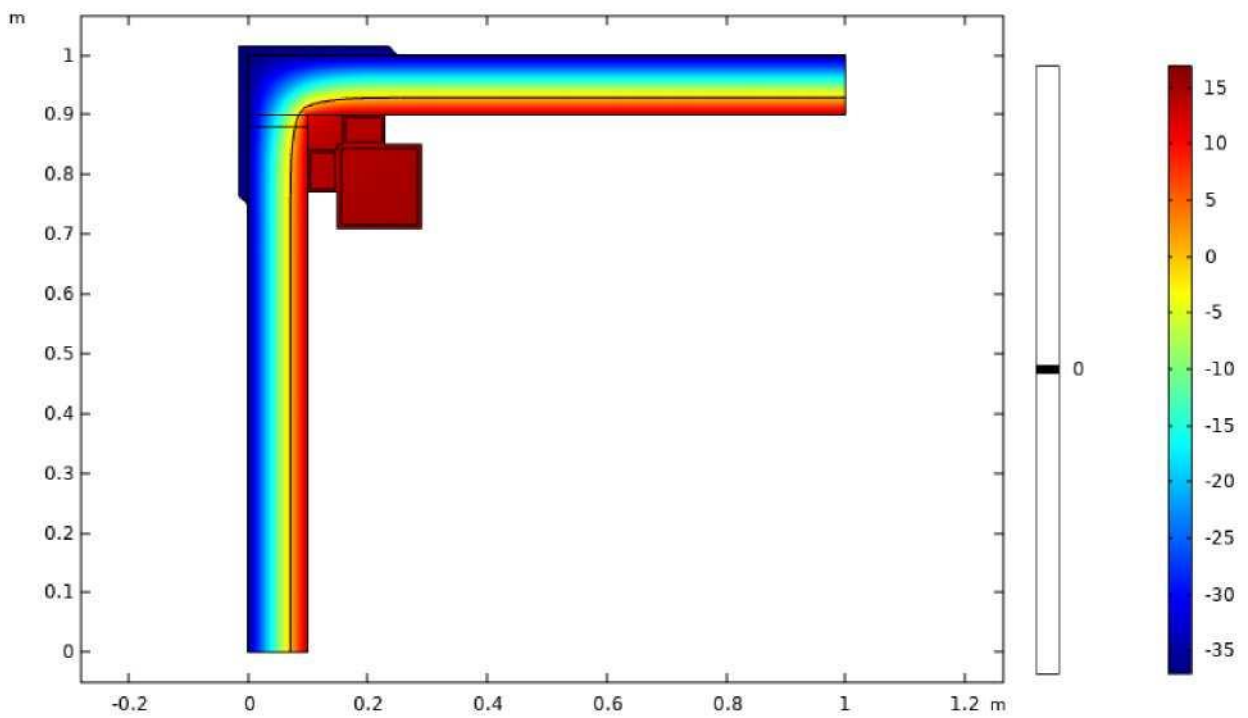


Рисунок 3.8 - Переріз без кріплень у вузлі 2

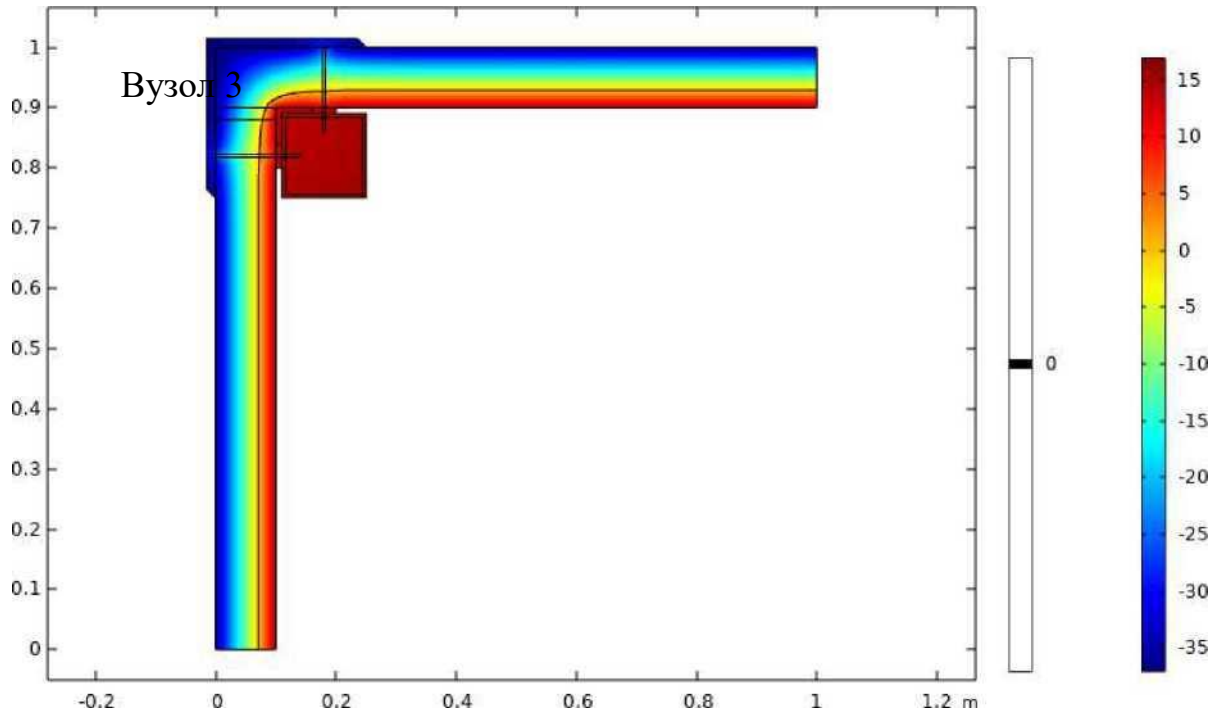


Рисунок 3.9 - Переріз за великим анкером у вузлі 3

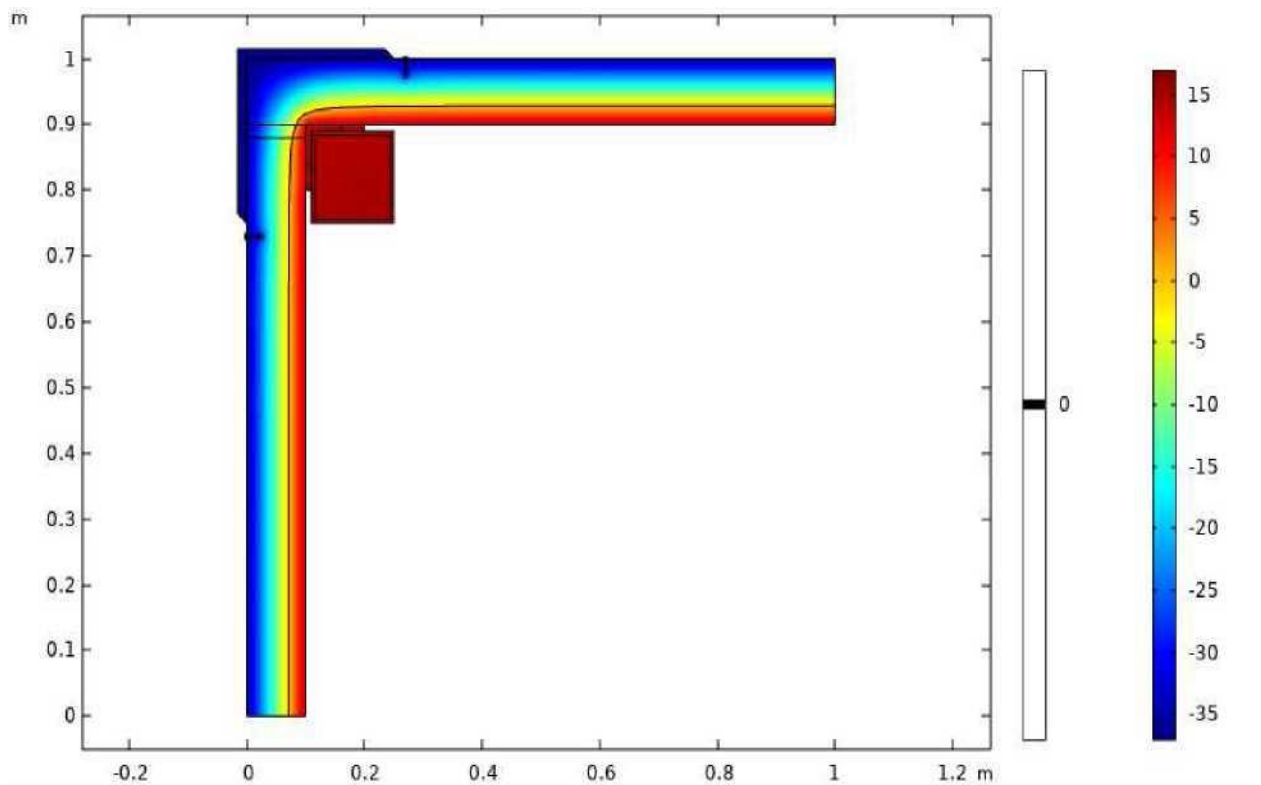


Рисунок 3.10 - Переріз по заклепці у вузлі 3

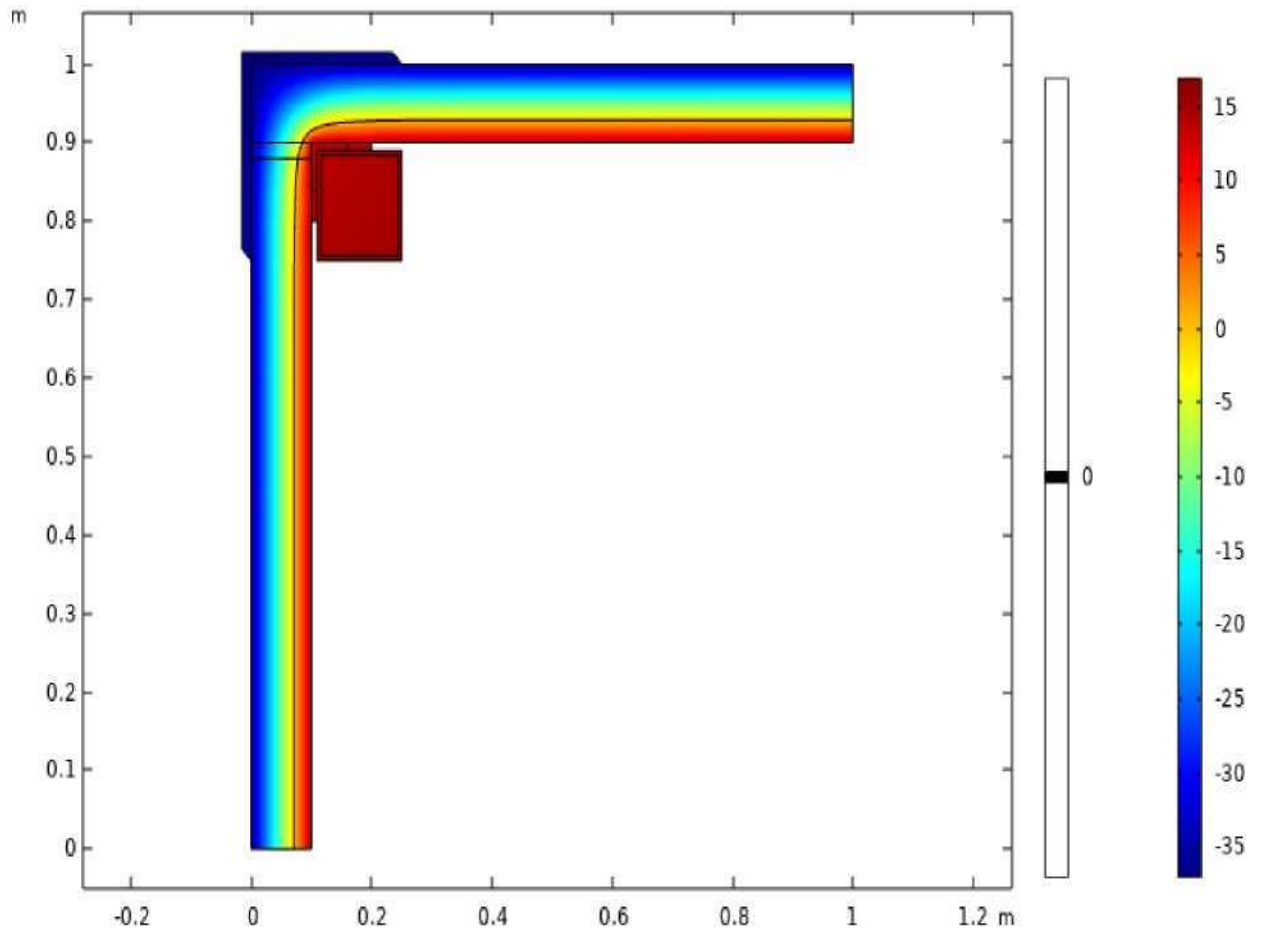


Рисунок 3.11 - Переріз без кріплень у вузлі 3

3.2 Порівняльний аналіз

За результатами дослідження було зроблено порівняльний аналіз огорожувальних конструкцій, що розглядаються, зведений в таблицю 3.2

Таблиця 3.2 - Загальні результати розрахунків

Тепловий потік, Вт/м ²		
Вузол 1	Вузол 2	Вузол 3
24,393	21,601	22,021

3.3 Сендвіч-панелі та протипожежна безпека

У зв'язку зі зростанням конфлікту в Україні, відзначається багато випадків пожеж у різних ключових об'єктах, таких як торговельні та логістичні центри, супермаркети, промислові комплекси, військові частини, медичні заклади, навчальні заклади, адміністративні будівлі та інші важливі об'єкти нашої інфраструктури.



Рисунок 3.12 - Склад с. Квітневе, Броварський район, пожежа внаслідок вибуху. (сендвіч-панелі з пінополіуретану)

Інформацію, щодо руйнувань внаслідок обстрілів, у Київській області підтвердила агенція CBRE Ukraine. Ушкоджень зазнали великі логістичні та складські приміщення загальною площею понад 364 тисячі квадратних

метрів, такі як склади українського ритейлера Foxtrot, логістичний парк Комодор, загальною площею майже 70 тисяч квадратних метрів, розподільчий центр українського ритейлера АТВ, комплекс Prologistic Services, фабрика Lipton, овочеве сховище Vegi Trade, площею 20 тисяч квадратних метрів та багато інших об'єктів. Соціальна інфраструктура України також зазнала значних руйнувань внаслідок російської агресії. За офіційними даними, на початок травня 2022 року, пошкоджено 1635 навчальних закладів, а 126 закладів знищено повністю. Також понад 400 закладів охорони здоров'я було повністю або частково зруйновано.



Рисунок 3.13 - Логістичний парк Комодор, Житомирська траса, Київщина.
(сендвіч-панелі з мінеральної вати)

Сьогодні в Україні особливу увагу приділяють протипожежній безпеці будівель, розуміючи, що це ключовий аспект при будівництві будь-яких об'єктів, де перебуватимуть люди. У недавніх пожежах помітний один загальний фактор: більшість об'єктів мали на фасадах легкозаймисті матеріали та сендвіч-панелі з утеплювачем із пінополіуретану (PUR/PIR). Пінополіуретан, який є нафтопродуктом, підвищує температуру горіння та сприяє швидкому поширенню вогню, зменшуючи час для евакуації та сприяючи обваленню будівлі. Крім того, при горінні він виділяє токсичний дим, що містить небезпечні речовини, що може призвести до серйозних наслідків для людей. Такі ризики створюють велику загрозу для життя та безпеки людей



Рисунок 3.14 - Склад Мері Кей, Житомирська траса, Київщина.

(сендвіч-панелі з пінополіуретану)

Протягом останніх трьох років на українському ринку спостерігається значний ріст використання сендвіч-панелей з наповнювачем PIR/PUR, який зросла з 40% у 2016 році до 70% у 2021 році.

Основним фактором цього зростання є активний розвиток логістичної інфраструктури та будівництво великих переробних та сільськогосподарських підприємств, де зниження витрат на квадратний метр споруди стало пріоритетом.

Зараз панелі з мінеральної вати частіше використовуються у проектах з іноземними інвестиціями або в об'єктах з підвищеним класом пожежної небезпеки, де оцінка ризиків має важливе значення.

Проте українські девелопери також звертають увагу на якість, довговічність та безпеку будівельних проектів, хоча ціна продукту іноді залишається важливим фактором вибору.

Тому компанія ТПК, разом з Конфедерацією Будівельників України (КБУ), активно працює над внесенням змін до нормативної бази, щоб чітко регулювати використання сендвіч-панелей з різними видами утеплювачів. Вони сподіваються, що найближчим часом буде створена державна програма перегляду будівельних нормативів з урахуванням нових загроз і ризиків. У 2021 році вони вже внесли пропозиції щодо змін у ДБН, спрямованих на покращення безпеки та вогнестійкості огорожувальних конструкцій.

Можемо класифікувати огорожувальні конструкції за наступними критеріями:

- Горючості (Г);
- Займистості (В);
- Поширенню вогню (РП);
- Димоутворювальної здатності (Д);
- Токсичності (Т).

Встановлення критеріїв нормування з урахуванням різних класів пожежної небезпеки будівельних матеріалів (Г, В, РП, Д, Т) допомагає зосередитися на основній загрозі для життя людей у випадку пожежі.

Пропозиції щодо підвищення вогнестійкості будівельних конструкцій спрямовані на мінімізацію ризиків виникнення пожеж на об'єктах. Важливо чітко розрізняти області використання пінополіуретанових і мінераловатних панелей, надаючи перевагу негорючим матеріалам та сендвіч-панелям з мінеральною ватою у будівлях, де перебувають люди.

Металеві обкладинки сендвіч-панелей у поєднанні з мінеральною ватою є повністю негорючими матеріалами, що зменшують ризики розповсюдження вогню. Застосування панелей з наповнювачем PIR/PUR рекомендується для морозильних камер і холодильників.

Незважаючи на це, у разі попадання снаряду в будівлю не можна уникнути руйнувань.

Проте тип наповнювача сендвіч-панелей може вплинути на ступінь пошкодження будівлі: стіна з мінераловатних панелей може захистити будівлю від пожежі та руйнування, а також затримати розпечені металеві уламки, що демонструється випадками пожеж у будівлях, де використано мінераловатні панелі.



Рисунок 3.15 - Електрична підстанція. Вибуховою хвилею зруйновані стіни будівлі. Обладнання не постраждало та зберегло працездатність.

(сендвіч-панелі з мінеральної вати)



Рисунок 3.16 - Склад в Київській області. Внаслідок вибуху було пошкоджено стіни уламками від цистерн з нафтопродуктами.

Продукція не постраждала.

(сендвіч-панелі з мінеральної вати)

«Українські підприємці та виробники рухаються у бік гармонізації з європейським законодавством та правилами ведення бізнесу, отже при ухваленні рішень повинні дивитися у майбутнє. Зазначу, що на сьогодні, в Україні не існує державних програм щодо стимуляції покращення вогнестійкості споруд. Але вважаю, що це є необхідним механізмом для збільшення інвестицій бізнесу саме в протипожежну безпеку майбутніх

об'єктів. Впевнена, що в умовах нової реальності, підприємці та виробники розуміють важливість страхування бізнесу, будівель та обладнання.

А протипожежна безпека споруди, значно впливає на суму страхування, висока протипожежна безпека об'єкта дозволяє сплачувати менші страхові платежі. Ну і навіть не потрібно рахувати, що дешевше: стіна із мінераловатних сендвіч-панелей або вартість збитків від пожежі», - Директор ТОВ «ТПК-ЦЕНТР», Проценко Ганна Володимирівна.

«Маємо жахливий світовий приклад, коли бажання побудувати дешевше, переважило безпеку для людей і мало катастрофічні наслідки. У Лондоні сталася пожежа у житловому будинку

Гренфелл-тауер, де через використання ПІР-плит для утеплення фасаду, від вогню чи отруєння димом, загинули 79 людей. Вогонь було неможливо загасити понад 2 доби.

Після розгляду причин, що призвели до пожежі, було змінено вимоги до утеплення будівель і на багатьох вже збудованих будинках було зроблено заміну утеплювача на негорючий.

Саме тому вважаю, що протипожежна безпека повинна бути визначальним та першочерговим фактором вибору матеріалів при будівництві будь-якої споруди», - Комерційний директор ТОВ «ТПК-ЦЕНТР», Федотова Ніна.



Рисунок 3.17 - Пожежа у житловому будинку Гренфелл-тауер

(Лондон, 2017 рік)

CBRE є найбільшою у світі консалтинговою та інвестиційною компанією у сфері комерційної нерухомості, дохід якої у 2020 році становив \$23,8 млрд. Компанія входить до списку 500 найбільших компаній світу згідно з рейтингом Fortune 500 (128-е місце у 2020-му). Український офіс CBRE відкрився у січні 2008 року та є частиною афілійованої мережі компанії.

3.4 Висновки по розділу

Отримані результати в ході дослідження вказують на те, що найкращим вузлом з технічної точки зору є вузол 2. Огороджувальна конструкція з сендвіч панелі по металевому каркасу зі значенням теплового потоку 21,601 Вт/м².

Другим за значенням теплового потоку є вузол 3. Конструкція, що огороджує, з сендвіч панелі по ущільнювальній стрічці, зі значенням 22,021 Вт/м².

Дані технічні рішення дозволять зменшити:

1. Освіта «містка холоду»;
2. Зниження температури повітря в приміщенні при стабільно працюючій системі опалення;
3. Поява конденсату;
4. Поява плісняви та грибка
5. Корозія металевих елементів;
6. Зниження довговічності конструкцій.

ОСНОВНІ ВИСНОВОКИ

1. Розглянувши на основі досвіду реконструкції та капітального ремонту основні тенденції застосування огорожувальних конструкцій промислових будівель найоптимальнішим, швидкокомтованим та економічно доцільним є рішення щодо використання сендвіч панелей.

2. Отримані результати в ході дослідження вказують на те, що найкращим вузлом з технічної точки зору є вузол 2. Огорожувальна конструкція з сендвіч панелі по металевому каркасу зі значенням теплового потоку $21,601 \text{ Вт/м}^2$.

Другим за значенням теплового потоку є вузол 3. Конструкція, що огорожує, з сендвіч панелі по ущільнювальній стрічці, зі значенням $22,021 \text{ Вт/м}^2$.

Дані технічні рішення дозволять зменшити:

- 1) Освіта «містка холоду»;
- 2) Зниження температури повітря в приміщенні при стабільно працюючій системі опалення;
- 3) Поява конденсату;
- 4) Поява плісняви та грибка
- 5) Корозія металевих елементів;
- 6) Зниження довговічності конструкцій.

3. За отриманими результатами можна дійти невтішного висновку, що найвигіднішим з економічної погляду є варіант огорожувальної конструкції з сендвіч панелей 100 мм.

Але за технічними характеристиками даний вузол показав себе як найгірший.

4. Для підвищення енергоефективності огорожувальних конструкцій потрібно враховувати сукупність факторів як з технічної так і з економічної точки зору.

5. На підставі розроблених рекомендацій у даній роботі та з

урахуванням сукупності техніко-економічних особливостей найкращим вузлом кріплення є вузол 3 огорожувальні конструкції із сендвіч панелей 100 мм по ущільнювальній стрічці.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДБН В.2.5-28-2006 «Природне і штучне освітлення» – К.: Мінрегіон України, 2012. – 68 с..
2. ДБН А.3.2-2-2009 «Охорона праці і промислова безпека в будівництві» – К.: Міністерство регіонального розвитку та будівництва України, 2012. – 94 с.
3. ДБН В.2.5-67:2013 «Опалення, вентиляція та кондиціонування» [чинний від 01.09.2013 р.] – К.: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2013. – 168 с.
4. ДБН В.2.6-31:2006 «Теплова ізоляція будівель» [зі зміною №1 від 1 липня 2013 року] – К.: Міністерство будівництва, архітектури та житлово-комунального господарства України, 2007. – 72 с.
5. ДБН А.3.1-5-2009 «Організація будівельного виробництва» – К.: Міністерство регіонального розвитку і будівництва України, 2010. – 61 с.
6. ДБН В.2.5-64:2012 «Внутрішній водопровід та каналізація Частина 1.Проектування, Частина 2 Будівництво» – К.: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2013. – 113 с.
7. ДБН В.1.2-10-2008 «Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Основні вимоги до будівель і споруд» – К.: Мінрегіонбуд України, 2012. – 11 с.
8. НАПБ Б.03.002-2007 «Норми визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою» – Київ, 2007. – 25 с.
9. ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 «Будівельна кліматологія» – К.: Міністерство регіонального розвитку і будівництва України, 2011. – 127 с.
10. ДСН 3.3.6.042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень» - К.: Міністерство охорони здоров'я України, 1999. – 12 с

11.Р.І. Кінаш. Технологія заготівельних та спеціальних монтажних робіт / Р.І. Кінаш, С.С. Жуковський – Львів: Видавництво науково-технічної літератури, 1999. – 448 с.

12. Степанов М.В., Росковшенко Ю.К., Зінич П.Л. та ін. Теплогазопостачання і вентиляція: Навчальний посібник. – К.: КНУБА, 2004. – 204 с.

13.Ваничек, І. Геотехнічні проблеми в будівництві об'єктів в Європі та Україні / І. Ваничек // Світ геотехніки. - 2011. -№ 2. - С. 28-32.

14.Барашиков, А. Я., Сирота, М. Д. Надійність будівель і споруд : навчальний посібник / А. Я. Барашиков, М. Д. Сирота. - К. : ІСДО, 1993. – 204 с.

15. Білецький, А. А. Організація і технологія будівельних робіт : навчальний посібник / А. А. Білецький. - Рівне : НУВГП, 2007. – 202 с.

16. Бліхарський, З. Я. Реконструкція та підсилення будівельних споруд : навчальний посібник / З. Я. Бліхарський. - Львів : Львівська політехніка, 2008. – 108 с.

17. Гетун, Г. В. Архітектура будівель та споруд [Текст] : Кн.1. Основи проектування : підручник / Г. В. Гетун. - К. : Кондор, 2011. – 376 с.

18. Гоц, В. І. Технологія будівельних алюмінієвих конструкцій [Текст] : підручник / В. І. Гоц, О. Г. Гелевера, В. М. Фролова. – К. : КНУБА, 2007. – 379 с.

19. Губій, М. М. Проектування ремонту й підсилення будівель та споруд із застосуванням сучасних матеріалів і технологій [Текст] : навчальний посібник / М. М. Губій, Р. М. Ахмеднабієв. - 2-ге вид, стереот. - Харків : Тимченко А. М., 2009. – 191 с.

20. Екологія в будівництві [Текст] : навчальний посібник / за ред. Р. А. Кизими. - Харків : Бурун Книга, 2007. – 223 с.

21. Барзилович Д. В. Технічне регулювання - фактор забезпечення реалізації державної політики у будівництві / Д. В. Барзилович // Промислове будівництво та інженерні споруди. - 2011. - № 3. - С. 2-6.

22. Аналіз техніко-економічних чинників утеплення зовнішніх захищень / [Ю. С. Юркевич, О. О. Савченко, О. В. Омельчук, О. В. Дейнека] // Вісн. нац. університету «Львівська політехніка». Теорія і практика будівництва. – 2011. – № 697. – С. 257–261.
23. Андрійчук В. Шляхи досягнення енергетичної безпеки /В. Андрійчук // Політика і час. – 2006. – № 12. – С. 35–38.
24. Ахромкін Є. М. Методична база оцінки ефективності ресурсозберігаючих технологій [Електронний ресурс] / Є. М. Ахромкін //Ефективна економіка. – 2011. – № 1. – Режим доступу:<http://www.economy.ukraine.com.ua/?op=1&z=443>
25. Базилінська О. Я. Фінансовий аналіз : теорія та практика: навч.посіб. / О. Я. Базилінська. – К. : Центр учбової літератури, 2009. – 328 с.
26. Бевз В. В. Розвиток механізму енергозбереження на підприємствах харчової промисловості / В. В. Бевз // Вчені записки: зб. наук.праць. – К. : КНЕУ, 2011. – № 13. – С. 169–173
27. Бойко Н. О. Обґрунтування ефективного впливу енергозберігаючих технологій на економічну безпеку підприємств/ Н. О. Бойко,В. Ф. Коротчин // Вісн. економіки транспорту і промисловості. – 2012.– № 39. – С. 7–10
28. Будівельна кліматологія: ДСТУ Н Б В.1.1-27:2010. – К. : Мінрегіонбуд України. – 2011. – 123 с
29. Войнаренко М. П. Аналіз впливу мотивуючих факторів на результати діяльності машинобудівних підприємств / М. П. Войнаренко, С. І. Гребінська // Вісник економічної науки України. – 2012. –№ 1 (21). – С. 41–44.
30. Войнаренко М. П. Інноваційний розвиток промислових підприємств: аналіз та оцінки : моногр] / М. П. Войнаренко, А. В. Череп, Л. Г. Олейнікова, О. Г. Череп. – Хмельницький : ХНУ, 2010. – 444 с
31. Волошко А. В. Проблеми вибору оптимальної математичної моделі енергоспоживання на промислових підприємствах / А.В. Волошко, Я. С. Бедерак, Т. М. Лутчин / ВЕЖПТ. – 2013. – №8(65). – С. 19–23.

32. Гайдуцький А. П. Методологічні аспекти інвестиційної привабливості економіки / А. П. Гайдуцький // Регіональна економіка. – 2004. – № 4. – С. 81–86.

33. Галузева програма з енергоефективності та енергозбереження на період до 2017 року . – К. : Мінпромполітики України. – 2009. – 123 с.

34. Гаращук О. В. Кількісна оцінка інвестиційних ризиків / О. В. Гаращук, Н. О. Целіна, О. Д. Мельниченко // Вісн. Економічної науки України. – 2009. – № 1. – С. 55–57.

35. Дем'янишин В. Г. Сучасний стан та тенденції енергозбереження в Україні та світі [Електронний ресурс] / В. Г. Дем'янишин, С. В. Кулибаба // Економічні науки. – Серія «Облік і фінанси». – Випуск 7 (25). – Ч. 4. – 2010. – Режим доступу : http://www.nbu.gov.ua/portal/soc_gum/en_oif/2010_7_4/16.pdf

36. Денисюк С. П. Перші кроки до створення дієвих механізмів стимулювання розвитку альтернативної енергетики в Україні / С. П. Денисюк, О. Б. Рибіна, В. О. Негодуйко // Праці інституту електродинаміки НАН України. – 2011. – № 30. – С. 5–14.

37. Деякі питання використання коштів у сфері енергоефективності та енергозбереження: Постанова Кабінету міністрів України 17.10.2011 [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://zakon1.rada.gov.ua/cgi-bin/laws/mai№.cgi?nreg=1056-2011-%EF>

38. Джеджула В. В. Визначення резервів збільшення прибутку від енергозберігаючих заходів / В. В. Джеджула // Економічний аналіз. – 2012. – Вип. 11. – Ч. 2. – С. 198–202.

39. Джеджула В. В. Використання теорії нечіткої логіки при прийнятті рішень з підвищення енергоефективності промислового підприємства / В. В. Джеджула // Вісн. Хмельниц. нац. університету. – Економічні науки – Т. 1. – 2012. – № 6. – С. 7–11.

40. Долінський А. А. Енергозбереження та екологічні проблеми енергетики / А. А. Долінський // Вісн. НАН України – 2006. – № 2. – С. 24–32.

41. Дудар І. Н. Енергетична галузь України. Сьогодення і пріоритети розвитку / І. Н. Дудар, В. В. Швець // Екологічний вісн. – 2004. – № 6. – С. 11–12.
42. Карабут Г. В. Енергетична політика України: шлях до ефективності / Г. В. Карабут // Энергосбережение. – 2005. – № 10. – С. 21–26.
43. Квик М. Я. Задача про оптимальне розміщення підприємств та метод її розв'язування / М. Я. Квик, Г. Г. Цегелик // Торгівля, комерція, підприємництво : збірник наукових праць. – 2009. – № 17. – С. 244–253.
44. Кизим М. О. Нейронні мережі: теорія і практика застосування: монографія / М. О. Кизим. – Х. : ВД «ІНЖЕК», 2006. – 240 с.
45. Лялюк О. Г. Система прийняття організаційно-технологічних рішень по зменшенню радіаційної небезпеки в будівництві : дис.. канд. техн. наук: спеціальність 05.13.22 «Управління 314 проектами і програмами» / Вінницький держ. технічний ун-т/ О. Г. Лялюк. – Вінниця, 2000. – 160 с
46. Alderfer C. Existence, Relatednes and Growth / C. Alderfer. –New York : Free Press, 1972. – 230 p.
47. Bellman R. Applied Dynamic Programming / R Bellman,S. Dreyfus. – Princeton: Princeton University Press, 1962. – 364 p.328
48. Energy audits for industry. Fuel efficiency booklet. – 1993. –№ 1. – 65p.
49. Energy in Europe. European Union Outlook to 2020. SpecialIssue. november 1999. – Paris : EC, 1999.
50. Hoshide R. K. Energy conservation measures: which projectsshould we select / Robert K. Hoshide // Strategic planning for energy endenvironment. – 1997. – № 4. – P. 6–17.
51. Investment appraisal for industrial energy efficiency. Good practice guide. –1993. – № 69. – 81 p.
52. McGregor D. The Human Side od Enterprice / D. McGregor. – New York : McGraw-Hill, 1960. – 239 p.
53. Modigliani F. The Cost of Capital, Corporation, Finance, and the Theory of Investment / F. Modigliani, M. H. Miller // American Economic Review, June

1958. – P. 261–297.

54. Pearl J. Bayesian networks: A Model of Self-Activated Memory for Evidential Reasoning (UCLA Technical Report CSD-850017) // 7th Conference of the Cognitive Science Society, University of California, Irvine, CA. – 2009. – P. 329–334.

55. Riedle K. Research and Development in Power Plant Engineering / Riedle K., Taud R. // VGB PowerTech. – 2001. – №1.

56. Vroom Victor H. Work and Motivation / Victor H. Vroom. – New York : Wiley, 1964. – 135 p.

57. Woodroof E. Financial Arrangement for Energy Management Projects. / Woodroof E., Turner W. – Oklahoma: School of Industrial Engineering and Management, 2003.

58. Банах А.В., Лушніков О.С., Гребенюк О.В. Перспективи реконструкції виробничих будівель // Матеріали III Всеукраїнської науково-практичної конференції за участю молодих науковців «Актуальні питання сталого науково-технічного та соціально-економічного розвитку регіонів України». - Запоріжжя : ЗНУ, 2023. - С.176-177.