

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет інженерії машин, споруд і технологій

(повна назва факультету)

Кафедра будівельної механіки

(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

Магістра

(назва освітнього ступеня)

на тему: Дослідження властивостей теплоізоляційних матеріалів
на основі силікатів

Виконав: студент VI курсу, групи МБнм-61
спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія»
(шифр і назва спеціальності)

Студент _____
(підпис) Лопаський В.С.
(прізвище та ініціали)

Керівник _____
(підпис) Бодрова Л.Г.
(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль _____
(підпис) Мещерякова О.М.
(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри _____
(підпис) Ясній В.П.
(прізвище та ініціали)

Рецензент _____
(підпис) Бобик М.П.
(прізвище та ініціали)

Тернопіль
2023

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет Факультет інженерії машин, споруд і технологій

(повна назва факультету)

Кафедра Будівельної механіки

(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Ясній В.П.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

« »

2023 р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня Магістр

(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 192 Будівництво та цивільна інженерія

(шифр і назва спеціальності)

студенту Лопаський Вадим Степанович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Дослідження властивостей теплоізоляційних матеріалів на основі силікатів»

Керівник роботи Бодрова Людмила Гордіївна, к.т.н. доцент

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

Затверджені наказом ректора від « 10 » 04 2023 року № 4/7-364.

2. Термін подання студентом завершеної роботи _____

3. Вихідні дані до роботи _____

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

Стан питання основного напрямку дослідження. Методологія дослідження

Результати розрахунків та дослідження властивостей матеріалів.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Каспрук В.Б. доцент		
Безпека в надзвичайних ситуаціях	Стручок В.С. ст. викл.		
Нормоконтроль	Мещерякова О.М. ст.викл.		

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Огляд літератури за темою досліджень		
2	Визначення методики дослідження		
3	Скінченно-елементне дослідження властивостей		
4	Охорона праці		
5	Загальні висновки		

Студент

(підпис)

Лопацький В.С.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Бодрова Л. Г.

(прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

ВСТУП	5
РОЗДІЛ 1 СТАН ПИТАННЯ ОСНОВНОГО НАПРЯМУ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	8
1.1 Основні терміни та визначення	8
1.2. Сучасні стінові матеріали.....	11
1.3 Аналіз використання і застосування засипних утеплювачів.....	21
1.3.1 Керамзит.....	22
1.3.2 Перліт	22
1.3.3 Вермикуліт	23
РОЗДІЛ 2 МЕТОДОЛОГІЯ ДОСЛІДЖЕННЯ	29
2.1 Теплотехнічний розрахунок.....	29
2.2 Розрахунок опору паропроникненню	31
2.3 Програмні комплекси для проведення дослідження	36
2.4 Моделювання в COMSOL Multiphysics	37
2.5 Вихідні дані для моделювання	39
РОЗДІЛ 3 РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРАХУНКІВ	42
3.1 Результати моделювання вологісного режиму огорожувальних конструкцій	43
3.2 Результати моделювання температурного режиму огорожувальних конструкцій	50
РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	55
4.1 Охорона праці.....	55
4.1.1 Законодавство України про охорону праці	55

4.1.2 Вимоги при закладанні колон	55
4.1.3 Вентиляційна установка	57
4.2 Безпека в надзвичайних ситуаціях	60
4.2.1 Законодавство України про безпеку в надзвичайних ситуаціях	60
4.2.2 Загальні положення.....	61
4.2.3 Вплив ударних хвиль при вибуху	62
ВИСНОВКИ.....	64
БІБЛІОГРАФІЯ	65

ВСТУП

Сьогодні в будівництві присутня одна з актуальних проблем як для новостворюваних, так і для експлуатованих будівель і споруд - це їхнє утеплення.

Застосовуючи спучений вермикуліт, можна домогтися вирішення цієї проблеми зі значним економічним ефектом.

Одночасно зі зменшенням витрат на збереження тепла в будівлях і спорудах розв'язуються такі проблеми, як їхній вогнезахист, звуковідбиття і звукопоглинання внутрішніх приміщень, а також низка інших проблемних питань, що виникають під час благоустрою.

Спучений вермикуліт є сипучим, легким, високопористим матеріалом, з характерною лускатою структурою без запаху.

Матеріал має високі тепло- і звукоізоляційні властивості, не токсичний, не схильний до гниття і перешкоджає поширенню цвілі.

Унікальні його технічні характеристики - це температуростійкість, вогнестійкість, відбивна здатність, хімічна інертність.

Вермикуліт є екологічно чистим і біостійким продуктом.

За підвищеної температури, що виникає під час пожеж, не виділяє жодних газів, що є важливою перевагою порівняно з іншими відомими матеріалами органічного походження.

Пропонуються теплоізоляційні матеріали з поліпшеними експлуатаційними характеристиками на основі вермикуліту. Створювані матеріали та технології їх отримання відповідають критеріям енерго- та ресурсозбереження, біосферної сумісності та пожежної безпеки за одночасного поліпшення тепло-фізичних характеристик.

Мета роботи: є дослідження теплотехнічних властивостей огороджувальних конструкцій на основі вермикуліту.

Об'єкт досліджень – теплотехнічні властивості огороджувальних конструкцій

на основі вермикуліту.

Предмет дослідження – розподіл температури та виявлення зон конденсації у багатошаровій цегляній стіні, вузлі сполучення монолітної з/б плити і цегляної стіни.

Доцільність проведення досліджень зумовлена тим, що отримані результати дадуть можливість підвищити економічність будівель при їх експлуатації.

Завдання роботи:

- провести аналіз використання матеріалу в будівельній галузі;
- запропонувати конструктивні рішення з використанням вермикуліту;
- розробити скінченно-елементні моделі найбільш температурно-чутливих вузлів огорожувальних конструкцій у житловій будівлі;
- визначити енергетичну ефективність від використання вермикуліту в запропонованих вузлах огорожувальних конструкцій.

Методи дослідження – скінченно-елементний.

Галузю застосування результатів роботи є проектування нових, реконструкція та експлуатація існуючих будівель.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в тому, що на основі аналізу теоретичних досліджень встановлено основні закономірності виникнення та розвитку конденсаційних утворень; в результаті досліджень буде встановлено розподілу температури у вузлах огорожувальних конструкцій з використанням вермикуліту.

Практичне значення отриманих результатів. Отримані в роботі результати досліджень можуть бути використані для зведення нових та реконструкції існуючих житлових каркасних будівель.

Апробація результатів магістерської роботи виконана на VI Міжнародній студентській науково-технічній конференції «Природничі та гуманітарні науки. актуальні питання» (Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 27-28 квітня 2023 року.).

Публікація результатів магістерської роботи здійснена у збірнику тез

вищезазначеної конференції.

Робота виконана згідно з тематикою науково-дослідних робіт кафедри будівельної механіки ТНТУ та державними програмами надійності і економічності будівельних виробів, матеріалів і конструкцій.

Ключові слова: вермикуліт, енергоефективність, теплоізоляція.

РОЗДІЛ 1

СТАН ПИТАННЯ ОСНОВНОГО НАПРЯМУ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Основні терміни та визначення

Енергозбереження (економія енергії) - реалізація правових, організаційних, наукових, виробничих, технічних та економічних заходів, спрямованих на ефективне (раціональне) використання (та ощадливе витрачання) паливно-енергетичних ресурсів і на залучення до господарського обігу відновлюваних джерел енергії [8].

На обігрів будівель у зимовий період витрачається велика кількість теплової та електричної енергії. Застосування комплексу грамотних рішень на етапах проектування дає змогу багаторазово знизити найбільші статті витрат енергії - на опалення та гаряче водопостачання.

Клас енергетичної ефективності - характеристика будівлі, що відображає її енергетичну ефективність, тобто визначення відхилення питомої витрати теплової енергії на опалення від нормованої.

Для позначення ступеня енергоекономічності будівель їм присвоюють клас енергоефективності, що позначається A++, A+, A, B+, B, C+, C, C-, D, E.

Багатошарова (тришарова) кладка - конструкція, що складається з двох шарів кладки і шару з теплоізоляційних матеріалів, з'єднаних гнучкими зв'язками. [8].

Двошарова кладка - кладка, що складається з основного та облицювального шарів, з'єднаних між собою сітками, зв'язками або прокладними рядами. [8]

Колодязна кладка - кладка з внутрішніми порожнинами, заповненими утеплювачем. [8]

Теплоізоляція ("теплова ізоляція") - елементи конструкції, що зменшують процес теплопередачі та виконують роль основного термічного опору в конструкції. [17]. Система державних стандартів цегляних огорожувальних конструкцій.

Норми встановлюють вимоги до проектування кам'яних і кам'янокам'яних

конструкцій, що зводяться із застосуванням керамічної та силікатної цегли, керамічних, силікатних, бетонних блоків і природного каміння. Цей нормативний документ є основним документом, що регламентує будівництво [8].

Нині вимоги до теплової оболонки будівлі викладено в [17]. Згідно з цим нормативом, теплова оболонка будівлі має відповідати таким параметрам:

а) приведений опір теплопередачі окремих огорожувальних конструкцій має бути не меншим за нормовані значення (поелементні вимоги);

б) питома теплозахисна характеристика будівлі має бути не більшою за нормоване значення (комплексна вимога);

в) температура на внутрішніх поверхнях огорожувальних конструкцій має бути не нижчою за мінімально допустимі значення (санітарно-гігієнічна вимога).

Вимоги теплового захисту будівлі будуть виконані при одночасному виконанні всіх трьох вимог, перерахованих вище. Для задоволення поелементних вимог наведений опір теплопередачі стінових огорожувальних конструкцій має бути не меншим за нормоване значення для кліматичних характеристик місця будівництва.

Тому для розглянутого фрагмента теплозахисної оболонки будівель прийнято такі вихідні показники, за якими надалі буде "оцінюватися" вузол:

$$\tau_b \geq t_p \text{ } ^\circ\text{C}; \quad (1.1)$$

$$R_{пр} \geq R_{норм} (R_{птр}) \text{ м}^2 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{Вт}; \quad (1.2)$$

$$t_{int} - \tau_b \leq \Delta T_n, \quad (1.3)$$

де τ_b - мінімальна температура на внутрішніх поверхнях огорожувальних конструкцій (переважно в кутах віконного блоку), С;

t_p - температура точки роси огорожувальної конструкції, $^\circ\text{C}$;

$R_{пр}$ - приведений опір теплопередачі фрагмента теплозахисної оболонки будівлі, $\text{м}^2 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{Вт}$;

$R_{птр}$ - необхідний опір теплопередачі огорожувальної конструкції, $\text{м}^2 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{Вт}$;

t_{int} - внутрішня температура повітря, С;

$\Delta_{\text{тн}}$ - нормований температурний перепад, С.

Згідно з пунктом 5.7 [10] температура внутрішньої поверхні огорожувальної конструкції (за винятком вертикальних світлопрозорих конструкцій, тобто з кутом нахилу до горизонту 45° і більше) у зоні теплопровідних включень, у кутах і віконних укосах, а також zenітних ліхтарів має бути не нижчою за точку роси внутрішнього повітря за розрахункової температури зовнішнього повітря в холодний період року.

Згідно з [10] відносну вологість внутрішнього повітря для визначення температури точки роси в місцях теплопровідних включень огорожувальних конструкцій, у кутах і віконних укосах, а також zenітних ліхтарів слід приймати для приміщень житлових будинків - 55 %.

Отже, для об'єкта, що розглядається, приймаємо відносну вологість внутрішнього повітря $\varphi_{\text{int}} = 55\%$, для якої температура точки роси $t_d = 11,6^\circ\text{C}$.

У таблиці 5 [10] зазначено, що нормований температурний перепад між температурою внутрішнього повітря і температурою внутрішньої поверхні огорожувальної конструкції для житлових будинків і зовнішніх стін дорівнює $4,0^\circ\text{C}$.

Розрахункова температура внутрішнього повітря t_{int} згідно з [17] приймається рівною 21 теплового захисту:

Підставляючи дані значення отримуємо вимоги

а) $t_{\text{в}} \geq +11,6$;

б) $R^{\text{пр}} \geq 2,31 (3,66) \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$;

в) $t_{\text{int}} - t_{\text{в}} \leq 4$.

У пункті 9 [11] йдеться про те, що для теплотехнічно неоднорідних зовнішніх огорожувальних конструкцій, які містять кути, прорізи, з'єднувальні елементи між зовнішніми облицювальними шарами (ребра, шпонки, стрижневі зв'язки), наскрізні й ненаскрізні теплопровідні включення, проводять теплотехнічний

розрахунок обраних конструктивних рішень на основі розрахунку температурних полів.

1.2. Сучасні стінові матеріали

За родом матеріалу стіни можуть бути кам'яними, бетонними, залізобетонними, дерев'яними, з місцевих будівельних матеріалів, комбінованими. Стіни за конструкцією і способом зведення діляться на стіни зі штучних матеріалів, монолітні та великопанельні.

Одним з найпоширеніших матеріалів, що використовуються при зведенні будівель і споруд, є цегла. Велика практика застосування цегли дозволяє незаперечно віднести її до категорії найбільш довговічних будівельних матеріалів.

Забезпечуючи надійний захист від впливу зовнішніх чинників навколишнього середовища, цегла має високу вогнестійкість і порівняно низьку теплопровідність, накопичуючи сонячну енергію, вона повільно та рівномірно віддає тепло. Ці властивості цегли захищають від надмірного нагрівання влітку і зберігають тепло взимку. Цегляна стіна пропускає випаровування крізь свою товщу. У результаті в приміщеннях підтримується рівень рівноважної вологості.

Розрізняють цеглу керамічну, виготовлену на основі випалу глиняної сировини, і силікатну цеглу, виготовлену без застосування випалу за спеціальною технологією.

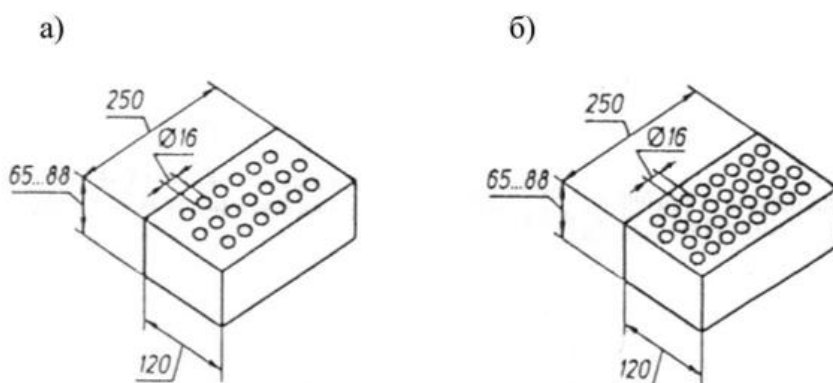
Керамічна цегла - результат випалу пресованих глиняних брикетів, до яких, окрім глини, додано пісок і, за потреби, інші добавки. Добре обпалена керамічна цегла має рівномірний червоний колір і при ударі видає дзвінкий, чистий звук. Перепалена цегла має чорну серцевину або оплавлені краї. Така цегла не придатна для широкого застосування і підходить тільки для кладки фундаментів.

Силікатну цеглу отримують методом напівсухого пресування брикетів із суміші кварцового піску, повітряного вапна і води з подальшою обробкою в

автоклаві - впливають на неї парою з високою температурою і тиском. Багато років у нашій країні силікатну цеглу виробляли біло-сірого кольору, якою вона набувала завдяки своїй основній складовій - подрібненому кварцу. Тому, якщо під руку попалася цегла білого кольору, можна було майже не сумніватися - вона силікатна. Нині силікатну цеглу завдяки додаванню барвників виробляють практично будь-якого кольору - колір залежить тільки від кольору барвника. Можна побачити силікатну цеглу блакитного і зеленого, зокрема й червоного кольорів.

Визначити, за якою технологією зроблено цеглу, найпростіше за її зломом. Так, злам керамічної цегли має характерну для кераміки структуру, тоді як силікатна цегла має м'якшу, "сипучу" структуру.

Звичайна повнотіла керамічна цегла повсюдно застосовується при зведенні несучих стін, склепінь, опорних колон, фундаментів та інших сильно навантажених конструкцій будівель. Силікатна цегла поступається червоній цеглі в універсальності застосування - використовується тільки в кладці стін і перегородок, не допускається її застосування у фундаментах, цоколях, печах, камінах, трубах та інших відповідальних конструкціях. Вона м'якша і менш міцна порівняно з червоною, але, порівняно зі звичайною керамічною цеглою, має вищі звукоізоляційні показники. Повнотіла цегла містить 8-15% технологічних пустот, має щільність понад 1600 кг/м³ і забезпечує максимальну міцність цегляної кладки.



а) - цегла з 19 пустотами (пустотність 13 %); б - цегла з 32 пустотами (пустотність 22 %).

Рисунок 1.1 – Зовнішній вигляд цегли і її розміри

Також випускають так звану пустотілу цеглу, що має наскрізні (або ненаскрізні) круглі або прямокутні (щілиноподібні) отвори. Вміст технологічних пустот у цьому випадку перебуває на рівні 20-45%, що істотно знижує вагу і теплопровідність цегли (порівняно з повнотілою). Об'ємна щільність пустотілої цегли не перевищує 1500 кг/м^3 . Окрему увагу можна приділити унікальній недефективній поризованій цеглі з густиною нижче 950 кг/м^3 виробництва KNAUFF. Ця цегла має меншу теплопровідність серед матеріалів розглянутої категорії, крім того не тоне у воді. Пустотілу цеглу застосовують для влаштування зовнішніх стін із підвищеною теплоізоляційною здатністю, а також для зведення внутрішніх стін і перегородок.

Для виконання кладки зовнішніх і внутрішніх стін розроблено декоративну цеглу, що має суворо правильну форму і рівну, глянсову поверхню зовнішніх стінок.

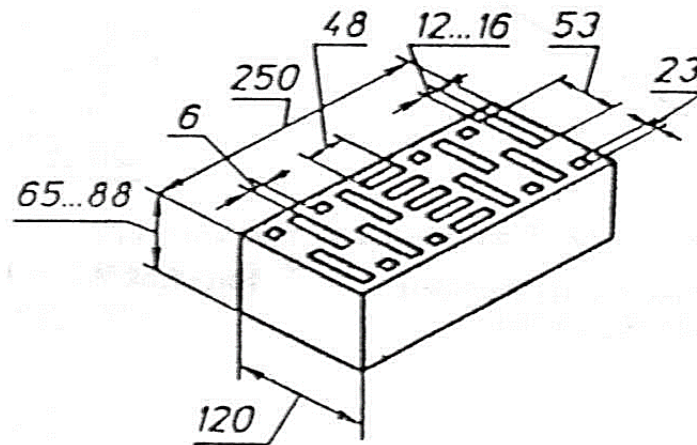


Рисунок 1.2 – Цегла з 21 порожнечою (пустотність 34 %, 45 %)

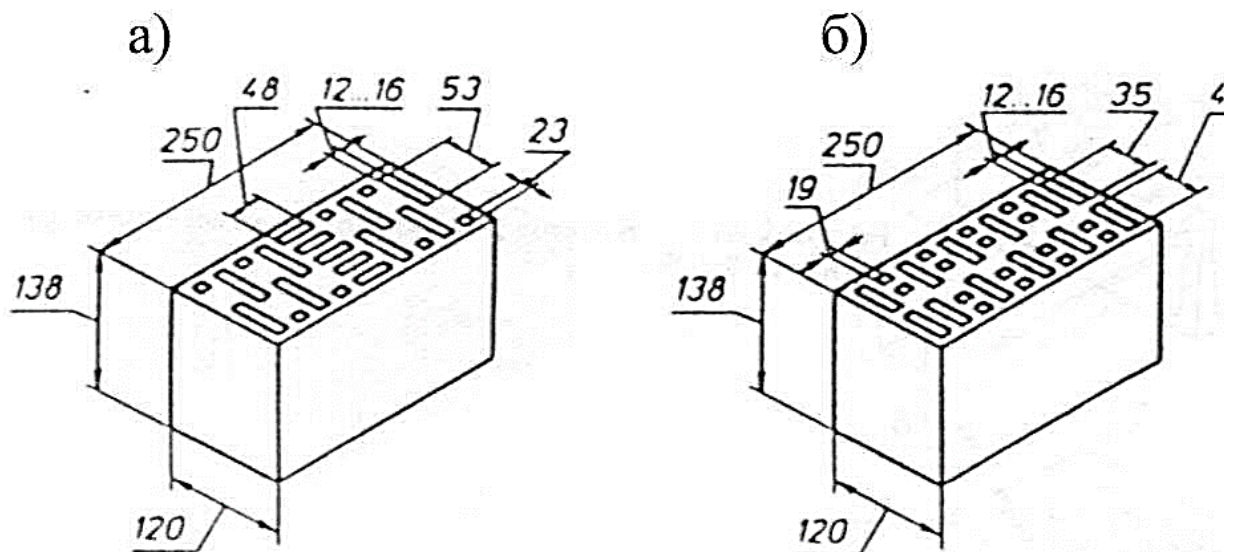
Використання такої цегли, що отримала визначення "фасадна", "лицьова", дозволяє отримувати не тільки чудову кладку зовнішніх стін, а й застосовувати його всередині приміщень без подальшого оздоблення стін.

До категорії облицювальних матеріалів може бути віднесена також і фасонна (фігурна) цегла. Заводи-виробники пропонують фасонну цеглу зі зрізаним кутом, із

заокругленим кутом, кутову цеглу, цеглу для обрамлення віконних прорізів, арок, для влаштування підвіконь тощо. Застосування фасонної цегли дає змогу уникнути трудомістких операцій із різання звичайної лицьової цегли та надає архітекторам додаткові можливості декорування.

Керамічний камінь відомий з часів Римської Імперії і широко використовується і в наш час. Обумовлено це тим, що керамічний камінь так само гарний, як і стійкий. Ніщо не говорить про переваги керамічного каменю більш переконливо, ніж століття використання його в будівництві.

За щільністю в сухому стані цеглу і каміння поділяють на звичайні, умовно-ефективні та ефективні. Застосування ефективних керамічних виробів дає можливість істотно скоротити матеріаломісткість огорожувальних конструкцій, зменшити товщину зовнішніх стін і навантаження на фундамент, що дуже важливо під час реконструкції виробничих будівель.



а- камінь з 21 порожнечою (пустотність 32 %, 42 %); б - камінь з 28 порожнечами (пустотність 34 %, 45 %)

Рисунок 1.3 – Зовнішній вигляд керамічного каменю і його розміри

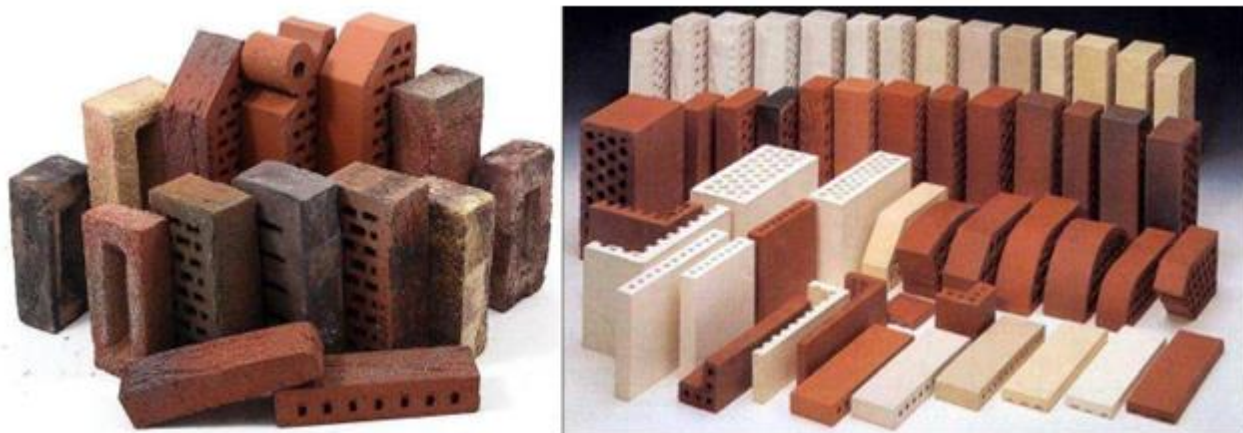


Рисунок 1.4 – Керамічні та силікатні цеглини фірми OPTIROC (Фінляндія)

До нового покоління ефективних пористих керамічних стінових матеріалів можна віднести великоформатні керамічні камені 15 НФ розміром 510x260x219 мм, щільністю 790 кг/м³, з порожнистістю 50-54% і теплопровідністю 0,18-0,22 Вт/м²С.

Такий камінь перевищує за розміром стандартну цеглу в 15 разів.

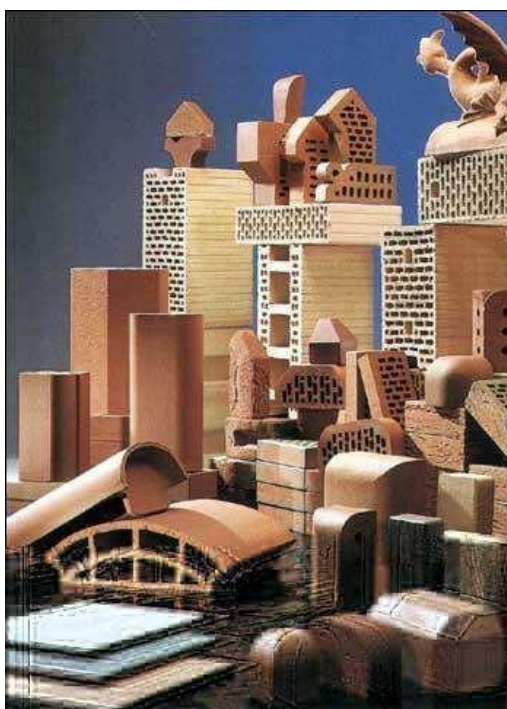


Рисунок 1.5 – Керамічні вироби фірми KELLER



Рисунок 1.6 – Поризований великоформатний камінь "KNAUFF"

Завдяки наявності у великоформатних каменів пазів і гребенів, що забезпечують необхідну герметичність стиків, немає необхідності заповнювати вертикальні шви розчином.

Кладка з великоформатних каменів у кілька разів скорочує кількість швів і суттєво економиться розчин кладки. Вартість зведення 1 м² зовнішньої стіни на 10-20% менша порівняно зі стінами з традиційної керамічної продукції.

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

Сьогодні на ринку представлений матеріал нового покоління будівельних матеріалів - некерамічна надтепла цегла.

Особливість її полягає в тому, що за відмінних теплоізоляційних якостей вона має міцність, достатню для будівництва навіть 9-поверхових будівель. Цегла створена за принципом термоса. Цегла "розрізана" п'ятьма повітряними прошарками, перемички, для збереження міцності, розташовані у вигляді лабіринту, що дає змогу уникнути "містків холоду".

Така цегла виготовляється з легкого, пористого і водночас міцного матеріалу, а щільність її за 25% порожнистості становить 900-1000 кг/м³. Мала щільність цегли зменшує навантаження на фундаменти, витрати на транспортування і

вантажопідйомні механізми. Верхня постіль цегли є суцільною, і це не дає змоги розчину провалюватися всередину порожнин, завдяки чому зберігаються її теплотехнічні властивості та економиться розчин.

Крім перерахованих вище, до нових штучних стінових матеріалів можна зарахувати пінокерамічні блоки, які виготовляють із крем'янистих порід (трепелу, опоки, діатоміту), піноутворювача, стабілізатора піни та активувальних добавок. Формовані блоки виготовляються на основі торфу і деревного наповнювача з подальшою тепловою обробкою.

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

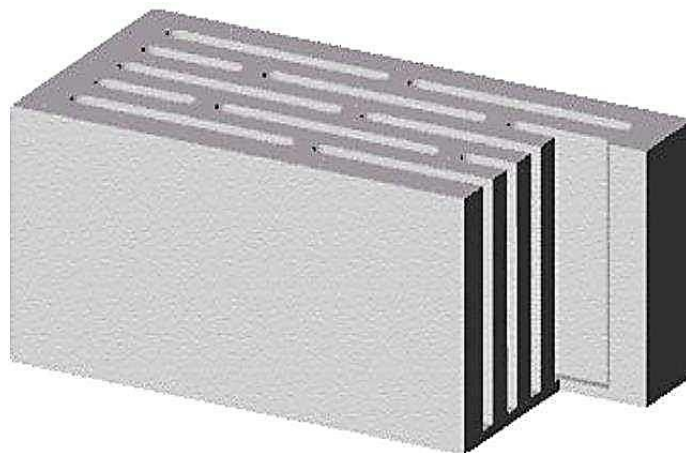


Рисунок 1.7 – Некерамічна надтепла цегла

Відповідно до норм, стінові камені (блоки) можуть бути виконані на основі звичайного важкого або легкого бетону на пористих заповнювачах.

Блоки з важких бетонів характеризуються високою несучою здатністю, але мають низькі тепло- і звукоізоляційні властивості. Такі блоки випускаються на безлічі підприємств практично у всіх регіонах України.

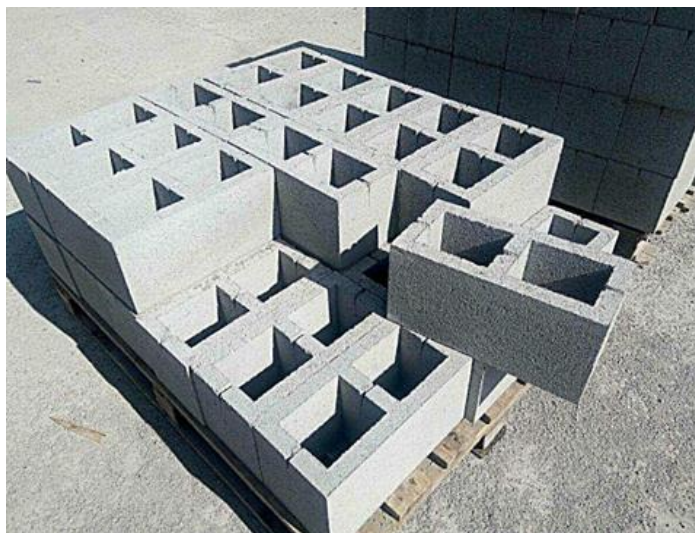


Рисунок 1.8 – Стінові блоки з важких бетонів

Ніздрюватий бетон - порівняно новий матеріал, йому не більше 100 років. Це штучний камінь з рівномірно розподіленими замкнутими порами (комірками), заповненими повітрям, діаметром 1-2 мм. Така структура визначає цілу низку високих фізико-механічних властивостей ніздрюватого бетону і робить його вельми ефективним будівельним матеріалом. Теплозахисні властивості у нього в 2-3 рази вищі, ніж у цегли.

Стіна з цього матеріалу "дихає", створюючи в приміщенні ідеальний мікроклімат. Ніздрюватий бетон не горить, є екологічно чистим і пожежобезпечним матеріалом. Зовні він нагадує пемзу. До переваг ніздрюватого бетону належить його хороша оброблюваність найпростішими інструментами. За призначенням ніздрюваті бетони поділяють на три групи: конструкційні, конструкційно-теплоізоляційні та теплоізоляційні. Серед блоків з ніздрюватих бетонів найбільшого поширення набули пінобетонні та газобетонні блоки.

Пінобетон виготовляється з цементу, піску, води і піноутворювача. Матеріал є морозостійким, негорючим, не руйнується від впливу високої температури, має хороші звукоізоляційні властивості і наділений теплоізоляційними властивостями та малою вагою. Пінобетонні блоки застосовують як огорожувальні конструкції в каркасних будівлях, а також як термовкладиші в огорожувальних конструкціях багатоповерхових житлових будинків.

Газобетон - отримують із в'язучого (цементу, вапна), кварцового піску, води, з додаванням газоутворювальних речовин. Газобетон має властивість поглинати вологу з повітря за підвищеної вологості та віддавати її за зниженої вологості, є морозостійким і екологічно чистим будівельним матеріалом. Газобетон негорючий, не руйнується від впливу високої температури і перешкоджає поширенню вогню. Газобетонні блоки мають точні геометричні розміри і гладку поверхню, що дає змогу вести кладку на спеціальному мінеральному клеї. Стінові газобетонні блоки випускаються двох типів: гладкі та з пазом/гребенем, що полегшує кладку. Застосовують їх під час влаштування комбінованих стін у багатоповерхових будівлях, під час зведення малоповерхових житлових будинків, а також як утеплювач.

Пінобетон і газобетон є конструкційно - теплоізоляційними будівельними матеріалами.



Рисунок 1.9 – Кладка з газобетонних блоків

До нових стінових матеріалів належать полістиролбетон і термоблок. Полістиролбетон з'явився не більше 10 років тому і є композиційним матеріалом, за своїм функціональним призначенням близький до ніздрюватих бетонів. Його отримують із легкого бетону на цементному в'язучому зі спученого полістирольного заповнювача і спеціальних добавок і називають "диво-матеріал ХХІ століття".



Рисунок 1.10 – Стіновий блок із полістиролбетону

Застосовується в малоповерховому і багатоповерховому будівництві. Наявність спеціальних пустот дає змогу використовувати їх як незнімну опалубку.

Термоблок - це стіновий елемент з піщаного бетону, що складається з двох частин - "блок-опалубки" (оболонки завтовшки 25 мм) з міцного, щільного піщаного бетону, що сприймає навантаження, і заповнення з піноцементу, що виконує роль теплозахисного матеріалу.

Залізобетон - композиційний будівельний матеріал, у якому з'єднані в єдине ціле бетон і сталева арматура. Використовується при виготовленні збірних і повнозбірних стінових панелей.

1.3 Аналіз використання і застосування засипних утеплювачів

Монтаж і демонтаж традиційного утеплення стін мінеральною ватою, пінопластом та іншими плитами - процес досить трудомісткий. У деяких випадках доречно використовувати сипучий утеплювач. Він набагато дешевший і зручніший за тієї ж ефективності. На ринку представлений досить різноманітний вибір таких матеріалів.

Серед величезної кількості видів мінеральної сировини найбільш підходящими є силікати та їхні різновиди, що являють собою складні композиції, що містять оксид. До них належить сировина як природного, так і техногенного походження. А серед природних мінералів найбільш затребуваними є перліт і вермикуліт. Ці мінерали після теплової обробки знайшли широке застосування у складі композиційних матеріалів і як основа в теплоізоляційних матеріалах і конструкціях. [2]

Сипучий утеплювач застосовується не тільки для внутрішніх поверхонь - ним можна утеплювати приміщення і зовні.

Стіни, підлога, дах - можна утеплити всі елементи, які конструктивно допускають засипку матеріалу.

Засипна теплоізоляція дешева. Деякі її види - це просто відходи виробництва (тирса) або вже готові природні матеріали.

Єдиний недолік - гігроскопічність. Вологий матеріал втрачає свої теплотехнічні властивості. Потрібно особливу увагу приділяти гідро- і пароізоляції його шарів. Втім, боязнь вологи характерна тією ж мірою і для всіх видів теплоізоляції [2].

Є кілька видів сипучого матеріалу для утеплення. Кожен із них має свої властивості, які розглянуто нижче.

1.3.1 Керамзит

Утеплювач, основою якого служить глина. Застосовується як самостійний утеплювальний матеріал для приміщень житлових або виробничих будівель, так і в поєднанні з бетоном (керамзитобетон). Сьогодні його отримують шляхом випалювання глинистих сланців.

Технологія виробництва варіюється залежно від необхідних розмірів кінцевих гранул. Вивчивши маркування засипного утеплювача, можна зрозуміти, яких розмірів гранули матеріалу і для яких ділянок будинку він підійде.

Наприклад, керамзитовий пісок використовується як утеплювач для підлоги або виступає складовим елементом бетонної обшивки. Гранули діаметром 5-10 мм підходять для скатних і плоских дахів, підлоги, мансарди; розміром понад 15 мм - для утеплення підвального приміщення або фундаменту.

Керамзит неминуче осідає в міру експлуатації, тому при первинному монтажі його необхідно сильно утрамбувати, щоб мінімізувати усадку. Матеріалом рекомендується утеплювати стіни лише в регіонах, де температура взимку не опускається нижче -20 градусів.

1.3.2 Перліт

Утеплювач виготовляють із силікатних вулканічних кам'яних порід за тією ж технологією, що і керамзит. При нагріванні до 1000-1200 градусів з поверхні каменів випаровується волога, залишаючи повітря всередині них. У результаті виходять білі або сірі гранули діаметром від 1 до 10 мм.

Щільність перліту коливається від 75 до 150 кг/м³, а за свій колір його ще називають "скляним утеплювачем".

Мінімальні за розміром гранули (1-2 мм) утворюють перлітовий пісок, який використовують у таких сферах: утеплення приміщень житлових будинків;

виготовлення акустичних матеріалів; виробництво утеплювальної штукатурки; створення жаростійкого бетону. Гранули, наповнені повітрям, важать менше керамзиту, тому підходять для теплоізоляції стін.

До того ж, матеріал нагадає мінеральну вату, оскільки окрім збереження тепла стане на заваді проникненню сторонніх шумів у приміщення.

1.3.3 Вермикуліт

Мінерал із групи гідрослюд, що утворюється в природних умовах унаслідок гідратації та інших вторинних змін різних слюд. У процесі нагрівання вермикуліт спучується з утворенням дрібнопористого матеріалу. Розмір частинок при цьому збільшується в напрямку перпендикулярному слюдистим шарам у 20-30 разів. Різні різновиди вермикуліту заведено визначати за видом міжшарового катіона. Найпоширеніший магнезійний вермикуліт, рідше зустрічається натрієвий, мідянистий і нікелевий [3]. Має підвищені вогнестійкі властивості, за рахунок яких застосовується при монтажі димоходів. Ідеальний для підлоги і стін.

Тонкий шар вермикуліту товщиною 5 см збереже до 70% тепла приміщення. Шар вермикуліту на горіщних перекриттях товщиною 5 см знижує втрати тепла на 75%, товщиною 7,5 см - на 85% і товщиною 10 см - на 92%. Цього достатньо для утеплення покрівлі. Для стін, підлоги і фундаменту рекомендується робити вдвічі більший шар матеріалу. Щільність вермикуліту нижча, ніж у керамзиту або перліту.

За своїми енергозберігаючими властивостями спучений вермикуліт у 7-10 разів перевершує такі традиційні матеріали, як бетон і цегла.

Істотними перевагами цього матеріалу є його легкість (щільність 500-600 кг/м³) і тривалий термін служби [2].

Поставляється цей засипний утеплювач мішками певного об'єму, а застосовується практично у всіх приміщеннях житлового будинку.

Вперше вермикуліт виявлено на початку XIX століття, промислового

застосування набув лише через 100 років.

На сьогодні промислове розроблення у Західній Австралії, США (штат Монтана, Колорадо, Вайомінг, Північна Кароліна, Джорджія), Уганді, Україні, ПАР, Казахстані (Кулантауське родовище), Узбекистані (Каракалпакія).

Як показує світова практика, вермикуліт вельми успішно застосовується в будівництві як вогнетривкий насипний утеплювач.

Володіючи плинністю, він під час засипання заповнює порожнечі неправильної форми. Шар вермикулітової засипки в 20 см за теплозахистом еквівалентний цегляній стіні товщиною 1,5 м або бетонній стіні товщиною 2 м.

Для порівняння, у таблиці 1.1 наведено показники теплопровідності деяких будівельних матеріалів

Таблиця 1.1 - Показники теплопровідності

Найменування матеріалу	Теплопровідність, Вт/м ² °К
Спучений вермикуліт	0,04-0,062
Базальтове полотно	0,04-0,062.
Гравій керамзитовий	0,12
Азбестоцементна плита	0,13
Пінобетон	0,14 - 0,18
Цегла пустотіла	<0,56
Цегла повнотіла	>0,6
Цегляна кладка	0,8
Бетон	1,45
Залізобетон	1,6

Вермикулітові засипки в стінових конструкціях застосовують для захисту приміщень від перегрівання й охолодження, для ізоляції холодильних камер, склепінь печей, для звукової ізоляції камер випробування авіаційних і автомобільних

двигунів, для звукопоглинання в кінозалах і кіностудіях тощо.

Поряд із вермикулітовими засипками, у будівництві ефективно застосовують сухі будівельні суміші та будівельні розчини, наповнювачем яких є вермикуліт.

В огорожувальних конструкціях завжди є такі ділянки, втрати тепла в яких неможливо врахувати (грані, кути, стики та місця порушення цілісності зовнішньої теплоізоляційної оболонки, внаслідок наскрізного проходження вентиляційних каналів або елементів будівельних конструкцій тощо). У всіх цих ділянках втрати тепла, як правило, збільшені порівняно зі звичайними поверхнями, вони є містками холоду. Прикладами є будівельні елементи з розчину і бетону в цегляній або блоковій кладці, наприклад, віконні та дверні перемички, виступи, підвальні цоколі, тощо.

Дуже ефективним методом суттєвого підвищення теплоізоляційних якостей стін є застосування так званих "теплих штукатурок", виготовлених на базі вермикуліту.

"Тепла штукатурка" - це свого роду багатокомпонентна суміш з вихідних матеріалів, що володіють низьким рівнем теплопровідності, завдяки чому утворюється пориста структура з досить хорошими теплоізоляційними характеристиками [5]. З цього випливає, що застосування "теплих" штукатурок для облицювання поверхонь стін може дати значний економічний ефект за рахунок зниження товщини стіни.

Вермикулітові штукатурні розчини застосовують для внутрішнього і зовнішнього оздоблення будівельних конструкцій, і вони можуть виконувати, крім підвищених теплозахисних і звукопоглинальних функцій, ще вогнезахисні, декоративні тощо. Наносяться вони на конструкції звичайним для штукатурних робіт способами.

На основі легкоплавких глин і дрібнорозмірного вермикуліту (з розмірами частинок менш як 0,63 мм) розроблено технологію одержання керамічних пористих заповнювачів, які задовольняють вимогам стандарту. Її застосування забезпечує

розширення напрямків використання легкоплавких, але таких, що не спучуються без добавки вермикуліту, глин. Крім того, вермикуліт забезпечує зниження об'ємної маси гранул за рахунок збільшення спучуваності глин в 1,4-1,6 разів, отримання більш високих марок керамзиту (200-250). Вихід цілих гранул становив 100%. Поверхня гранул більш рівна, гладка, з меншою кількістю видимих оком тріщин і меншими їх розмірами. Внутрішня частина гранул вирізняється більш яскравим проявом склофази і збільшеною кількістю пор. Підвищення пористості відбувається не тільки завдяки збільшенню об'єму гранул, а й завдяки більшій пористості, притаманній термовермикуліту (загальна пористість термовермикулітової гранули становить 90-92 %, а керамзитової гранули на основі однієї глини близько 70 %) [6].

Тонкостінні конструкції з армоцементу, залізобетону, металу (склепіння-оболонки, плити, ферми тощо), які широко застосовують у будівництві, здебільшого мають недостатню вогнестійкість.

Поперемінне нагрівання й охолодження таких конструкцій водою в умовах пожежі призводить до різкого падіння їхньої міцності, великих деформацій, спричиняє обвалення.

Вогнезахисна ефективність вермикулітових розчинів спрямована на підвищення межі вогнестійкості, яка має становити від 15 до 150 хв. [7].

Як було вже зазначено раніше, вермикуліт має високу вогнестійкість. Ця його властивість знайшла застосування для створення вогнезахисних покриттів, що спучуються на основі вермикуліту.

Найперспективнішими є покриття, що спучуються, - покриття, що володіють вогнезахисними і температуростійкими властивостями під час дії вогню. Ці покриття наносяться на конструкцію тонким шаром. У процесі експлуатації вони виконують функції декоративного покриття. У разі виникнення пожежі під час дії високих температур покриття спучується, значно збільшуючись в об'ємі, і утворює пористі вугільні шари, що мають низьку теплопровідність.

Завдяки високій відбивній здатності самих частинок вермикуліту, їхній низькій

теплопровідності та пружності, а також завдяки тонким прошаркам повітря між лусочками слюди, розроблені склади характеризуються низькою теплопровідністю і високою вогнестійкістю, а також естетичністю, хімічною стійкістю, нетоксичністю, відсутністю димоутворення [7].

Недоліками спученого вермикуліту, які необхідно подолати, є висока відкрита пористість зерен, відповідно значне водопоглинання і, відповідно, недостатня легкоукладальність розчинних сумішей. Крім того, низька механічна міцність зерен вермикуліту внаслідок слабкого зв'язку між окремими пластинками, розщеплюваність по площинах спайності, впливає на міцність зчеплення розчинів.

Тому - доцільно працювати з дрібними фракціями спученого вермикуліту, вихід яких при спучуванні значно більший і вони за вартістю дешевші.

Після аналізу властивостей мінералу стає зрозуміло, що сипучий утеплювач з вермикуліту - це вельми перспективний будматеріал, за допомогою якого можна знизити матеріаломісткість конструкцій і позбутися непередбачуваних теплових витрат, одночасно забезпечивши звукоізоляцію, тривалий вогнезахист і декоративність. Безпека, міцність і довговічність вермикулітових виробів дають змогу використовувати їх як зовні, так і всередині будівлі.

Крім цього, вермикуліт цілком придатний для вирішення інших будівельних завдань: теплоізоляції горищ, перекриттів і покрівель; термозахисту димохідних труб, трубопроводів, промислового обладнання; облаштування термостійких кожухів і перегородок, наприклад, для облицювання камінів.

Оштукатурювання стін цементно-вермикулітовим складом зовні захищає їх від негоди і різких температурних перепадів, перешкоджає ураженню пліснявою і комахами.

Штукатурні утеплювальні суміші актуальні і для внутрішнього оздоблення: їхні шари наносять звичними інструментами, легко затирають і набувають естетичного зовнішнього вигляду.

"Теплі штукатурки" на основі вермикуліту мають високу паропроникність, що

сприяє нормальній саморегуляції температурно-вологісного режиму.

Застосування "теплих штукатурок" дає змогу зменшити товщину багат шарової огорожувальної конструкції без втрат теплоізоляційних якостей.

Є сенс додавати вермикуліт і в кладочні бетонні суміші, щоб він перешкоджав втратам тепла через шви. Повною мірою можна використовувати спучений вермикуліт для підлоги: його рекомендується включати до складу бетонного розчину для заливки стяжки, а також для укладання теплих і наливних підлог. Таким чином, досягається істотне зниження об'ємної ваги, підвищення надійності покриття і скорочення витрат матеріалів. Разом з тим, вермикуліт не підходить для утеплення підземних і цокольних поверхів, оскільки не володіє належним рівнем гідрофобності.

Інший спосіб створення утепленої стіни - заповнення вермикулітом порожнин будівельних блоків (рисунок - 1.11).



Рисунок 1.11 – Будівельні вермикулітові блоки та плити

Теплоізоляційний ефект такої конструкції різко зростає, а вільний паробмін у стіні не порушується, і вона залишається легкою і дихаючою. За необхідності зовнішню стіну можна ще більше ізолювати, якщо її звести з бетонних панелей на основі швидкотвердіючого цементу з додаванням сипучого утеплювача для стін.

РОЗДІЛ 2

МЕТОДОЛОГІЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

У даній роботі було проведено моделювання проблемних вузлів з погляду тепло- і масопереносу, з метою порівняння роботи огорожувальних конструкцій з вермикулітобетону і цегляної багатошарової конструкції.

За допомогою чисельних методів визначено зони конденсації в досліджуваних вузлах за січень.

Згідно з [8] опір паропроникненню K зовнішньої стіни має бути не меншим за необхідний.

Ця вимога зумовлена забезпеченням ненакопичення вологи в огорожувальних конструкціях за річний період і період з негативними температурами. Випадання вологи в огорожувальних конструкціях негативно позначається на теплозахисті, оскільки зі збільшенням вологості матеріалу збільшується теплопровідність, що, зі свого боку, призводить до загального зниження опору теплопередачі в огорожувальній конструкції. Також підвищена вологість огорожень вкрай несприятливо позначається на санітарно-гігієнічному стані приміщень. Сирість у житлових будинках часто призводить до захворювань людей, які проживають у них. Крім того, що вища вологість матеріалу огорожі, то меншою є його морозо-, волого- і біостійкість.

Як досліджувані стіни було підібрано такі огорожувальні конструкції:

Стіна 1 - багатошарова цегляна (цегла-утеплювач-цегла),

Стіна 2 - одношарова з вермикулітобетону.

2.1 Теплотехнічний розрахунок

Для порівняння роботи огорожувальних конструкцій з вермикулітобетону і цегляної багатошарової конструкції був проведений теплотехнічний розрахунок для

визначення товщини утеплювача і товщини стіни з вермикулітобетону.

Товщину утеплювача стіни 1 і товщину стіни 2 підбрали таким чином, щоб опіробох огорожувальних конструкцій був однаковим.

Характеристики матеріалів прийнято згідно [8]. Визначення товщини утеплювача проводиться згідно з норм [8].

Опір теплопередачі неоднорідної багат шарової огорожувальної конструкції слід визначати за формулою:

$$R_o = r(R_{si} + R_k + R_{sl}) = \frac{1}{\alpha_{int}} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{1}{\alpha_{ext}} \quad (2.1)$$

Таблиця 2.1 - Теплофізичні характеристики матеріалів стіни 1

Номер шару	Найменування	Товщина шару, м	Щільність, кг/м ³	Коефіцієнт теплопровідності
1	Цегляна кладка на цементно-піщаному розчині	0,38	1800	0,7
2	Мінераловатні плити Rockwool	x	180	0,045
3	Цегляна кладка з пустотілої цегли на цементно-піщаному розчині	0,12	1400	0,52

Приймаємо утеплювач товщиною 123 мм. Фактичний опір $R = 3,67 \text{ (м}^2\text{°C)/Вт}$

Таблиця 2.2 - Теплофізичні характеристики матеріалів стіни 2

Номер шару	Найменування	Товщина шару, мм	Щільність, кг/м ³	Коефіцієнт теплопровідності
1	Вермикулітобетон	x	600	0,16

Приймаємо товщину 562 мм.

Отримані характеристики стін зведено в таблицю 2.3

Таблиця 2.3 - Отримані характеристики стін

Показник	Стіна 1	Стіна 2
Товщина, мм	623	562
Опір теплопередачі, м ² °C/Вт	3,67	

2.2 Розрахунок опору паропроникненню

Згідно [8] опір паропроникненню K , зовнішньої стіни (від внутрішньої поверхні до площини можливої конденсації) має бути не меншим за найбільший із таких необхідних опорів паропроникненню:

-необхідного опору паропроникненню $R_{п1}^{птр}(м^2*год*Па)/мг$ (з умови неприпустимості накопичення вологи в огорожувальній конструкції за річний період експлуатації), визначається за формулою

$$R_{п1}^{птр} = \frac{(e_b - E)R_{п.н.}}{E - e_n} \quad (2.2)$$

-необхідного опору паропроникненню $R_{п2}^{птр}$ (з умови обмеження вологи в огорожувальній конструкції за період з від'ємними середніми місячними температурами зовнішнього повітря), визначається за формулою

$$R_{п2}^{птр} = \frac{0,0024z_0(e_b - E_0)}{\rho_w \delta_w \Delta w + \eta} \quad (2.2)$$

де e_v - парціальний тиск водяної пари внутрішнього повітря, Па, при розрахункових температурі та відносній вологості повітря в приміщенні, визначається за формулою

$$e_v = (\varphi_v/100)E_v = (55/100)2463=1355\text{Па} \quad (2.3)$$

де E_v - парціальний тиск насиченої водяної пари, Па, за температури внутрішнього повітря приміщення визначається за формулою (2.4) за $t=21^\circ\text{C}$:
 $E_v=2463$ Па.

$$E = 1.84 * 10^{11} \exp\left(-\frac{5330}{273 + t}\right) \quad (2.4)$$

φ_v - відносна вологість внутрішнього повітря: для житлових будинків $\varphi_v = 55\%$

$R_{п.н.}$ - опір паропроникненню частини огорожувальної конструкції, розташованої між зовнішньою поверхнею огорожувальної конструкції і площиною максимального зволоження, розраховується за формулою

$$R_{п.н.} = \sum R_{п,i} \text{ м}^2 * \text{год} * \text{Па/мг} \quad (2.5)$$

e_n - середній парціальний тиск водяної пари зовнішнього повітря за річний період.

z_0 - тривалість періоду вологонакопичення, дів, приймається такою, що дорівнює періоду з від'ємними середніми місячними температурами зовнішнього повітря;

$$z_0 = 171 \text{ доба. [6];}$$

E_0 - парціальний тиск насиченої водяної пари в площині максимального

зволоження, Па, що визначається за середньої температури зовнішнього повітря періоду вологонакопичення [7];

ρ_w - щільність матеріалу шару, що зволожується

δ_w - товщина зволожуваного шару огорожувальної конструкції

Δw - гранично допустимий приріст вологості в матеріалі шару, що зволожується, у % за масою за період вологонакопичення

На підставі [8] приймаємо, що площина максимального зволоження розташована на стику між двома шарами - утеплювачем і зовнішнім оздоблювальним шаром, в цьому разі $\delta_w \Delta w$ у формулі приймають такою, що дорівнює сумі $\delta_{w1}\Delta w_1 + \delta_{w2}\Delta w_2$, які відповідають половинам товщини шарів, що стикаються.

E - парціальний тиск насиченої водяної пари в площині максимального зволоження, за річний період визначається за формулою

$$E = (E_1 z_1 + E_2 z_2 + E_3 z_3) / 12 \quad (2.6)$$

де E_1, E_2, E_3 ; - парціальний тиск насиченої водяної пари в площині максимального зволоження відповідно зимового осінньо-весняного та літнього періодів, Па, які визначають за температурою в площині максимального зволоження при середній температурі зовнішнього повітря відповідного періоду згідно з [7];

z_1, z_2, z_3 тривалість зимового, весняно-осіннього та літнього періодів року: $z_1=5$ міс.; $z_2=2$ міс.; $z_3=5$ міс;

η - коефіцієнт, що визначається за формулою (2.7)

$$\eta = \frac{0,0024(E_o - e_{н,отр})z_o}{R_{п,н}} \quad (2.7)$$

де $e_{н,від}$ - середній парціальний тиск водяної пари зовнішнього повітря періоду

місяців з від'ємними середньомісячними температурами.

Результат перевірка виконання умов:

$$\begin{aligned} R_{п.в.} &> R_{п1}^{TP} \\ R_{п.в.} &> R_{п1}^{TP} \end{aligned} \quad (2.8)$$

Опір паропроникненню частини стіни, розміщеної між внутрішньою поверхнею стіни та площиною можливої конденсації, $R_{п.в.}$ має бути не меншим, ніж необхідний опір паропроникненню з умови неприпустимості накопичення вологи в огорожувальній конструкції за річний період експлуатації, та не меншим, ніж необхідний опір паропроникненню з умови обмеження вологи в огорожувальній конструкції за період із негативними середньомісячними температурами зовнішнього повітря.

Для кожного з шарів багат шарової конструкції за формулою (8) проводиться обчислення значення комплексу $f_i(t_{m,y})$ який характеризує температуру в площині максимального зволоження.

$$f_i(t_{m,y}) = 5330 \cdot \frac{R_{о,п} (t_{в} - t_{н, ум}) \cdot \mu_i}{R_{о}^y (e_{в} - e_{в, ум}) \cdot \lambda_i} \quad (2.9)$$

де $R_{оп}$ - опір паропроникненню огорожувальної конструкції, м·год·Па/мг,

$R_{оп}^{ум}$ - умовний опір теплопередачі однорідної багат шарової огорожувальної конструкції, (м²·°С) /Вт, який визначають за формулами; наведено нижче $t_{н, ум}$ - середня температура зовнішнього повітря для періоду вологонакопичення, °С;

$e_{в}$ - парціальний тиск водяної пари внутрішнього повітря, Па, за розрахункових температури та відносної вологості повітря в приміщенні

$$e_B = (\varphi_B / 100) E_B \quad (2.10)$$

$e_{н.від}$ - середній парціальний тиск водяної пари зовнішнього повітря періоду місяців з від'ємними середньомісячними температурами, Па, який визначають за [6].

μ_i , λ_i - розрахункові коефіцієнти теплопровідності, Вт/(м°C), і паропроникності, мг/(мгод·Па), матеріалу відповідного шару.

За отриманими значеннями комплексу $f_i(t_{m,y})$ за таблицею [7] визначаються значення температур у площині максимального зволоження, бу, для кожного шару багат шарової конструкції.

Для визначення шару, в якому розташована площина максимального зволоження, проводиться порівняння отриманих значень $t_{m,y}$ з температурами на кордонах шарів конструкції. Якщо температура $t_{m,y}$ якомусь із шарів розташована в інтервалі температур на кордонах цього шару, то робиться висновок наявності в даному шарі площини максимального зволоження і визначається координата площини - $x_{m,y}$ (в припущенні лінійного розподілу температури всередині шару).

Якщо в кожному з двох сусідніх шарів конструкції відсутня площина з температурою $t_{m,y}$, водночас у холоднішого шару $t_{m,y}$ вища за його температуру, а в найтеплішого шару $t_{m,y}$ нижча за його температуру, то площина максимального зволоження розміщена на кордоні цих шарів.

Якщо всередині конструкції площина максимального зволоження відсутня, то вона розташована на зовнішній поверхні конструкції.

Якщо під час розрахунку виявилось дві площини з $t_{m,y}$ конструкції, то за площину максимального зволоження приймають площину, розташовану в шарі утеплювача.

μ_y , λ_y - умовний опір теплопередачі однорідної багат шарової огорожувальної конструкції, (м°C)/Вт, що визначається за формулами (2.11), (2.12);

$$R_0^y = \frac{1}{\alpha_B} + \sum_s R_s + \frac{1}{\alpha_H} \quad (2.11)$$

Для визначення зон конденсації вологи в даній роботі було використано програмний комплекс COMSOL Multiphysics.

2.3 Програмні комплекси для проведення дослідження

Для отримання теплових полів фрагмента теплозахисної оболонки будівлі (вузол №1) і розрахунку вихідних показників необхідно виконати теплотехнічний розрахунок. Обраний фрагмент є тривимірним, тому для отримання повної картини роботи теплового захисту будівлі ми застосовуємо комп'ютерні 3D-моделі, які надають нам точніші результати, ніж нормативні документи, а також можливість побачити роботу теплозахисту в будь-якій точці конструкції.

Крім цього, робота з комп'ютерними моделями дає змогу значною мірою заощадити час на розрахунок конструкцій, а також розширює можливості експериментування з матеріалами та умовами їхньої роботи.

Для теплотехнічного розрахунку обрано програмний комплекс "COMSOL MULTIPHYSICS".

COMSOL Multiphysics - це сучасний програмний комплекс, що включає інтерактивне середовище для моделювання та розрахункові модулі, які дають змогу проводити розрахункову оцінку більшості наукових та інженерних завдань, заснованих на диференціальних рівняннях у приватних похідних (PDE) методом скінченних елементів. Застосування розрахункових модулів не потребує глибокого знання математичної фізики та методу скінченних елементів - цей підхід реалізовано завдяки вбудованим фізичним режимам, де коефіцієнти PDE задають у вигляді зрозумілих фізичних властивостей та умов, як-от теплопровідність, теплоємність, коефіцієнт тепловіддачі, об'ємна потужність тощо залежно від

обраного фізичного розділу. Перетворення цих параметрів у коефіцієнти математичних рівнянь відбувається автоматично.

Взаємодію з програмою можна реалізувати в стандартному для середовища MS Windows графічному інтерфейсі, крім того, комплекс пропонує можливість створення додаткових функцій, що відповідають вимогам користувача з використанням вбудованої мови скриптів - COMSOL Script.

Для розв'язання PDE COMSOL Multiphysics використовує метод скінченних елементів (FEM). Розрахункові модулі дають змогу застосовувати гнучкий підхід до конфігурації, типу та характеристик скінченного елемента, враховуючи геометричну конфігурацію тіл. Через те, що багато фізичних законів виражаються у формі PDE, стає можливим моделювати широкий спектр наукових та інженерних явищ з багатьох галузей фізики, таких як акустика, гідро- і термодинаміка, складні дифузії, електричні та електромагнітні явища, оптичні ефекти, тепломасоперенос і багатьох інших.

2.4 Моделювання в COMSOL Multiphysics

Температурне поле в момент часу t визначається як розподіл температури T по тілу, тобто функцією $T = T(x, y, z, \tau)$. Тепловий потік, як правило, спрямований з області з вищою температурою в область з нижчою.

Основне положення теорії теплопровідності, відоме як закон Фур'є, полягає в пропорційності теплового потоку градієнту температури в однорідному нерухомому середовищі. Після деяких перетворень, рівняння теплопровідності набуває вигляду (2.12):

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = a \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) = a \nabla^2 T, \quad (2.12)$$

де $T=T(\tau,x,y,z)$ -- температура, К; x, y, z - координати, м; τ - час, с; a - коефіцієнт температуропровідності, м/с; Δ - оператор Лапласа.

$$a = \frac{\lambda}{c_m \cdot \rho}, \quad (2.13)$$

де λ - коефіцієнт теплопровідності, Вт/(мК); C_m - питома теплоємність, Дж/(кг К); ρ - густина, кг/м.

Для врахування масопереносу необхідно об'єднати рівняння 14 з рівнянням дифузії (2.14).

$$\frac{\partial c}{\partial \tau} = D \nabla^2 c \quad (2.14)$$

де $c = c(\tau,x,y,z)$ - концентрація, моль/м³; D коефіцієнт дифузії, м/с.

Для зв'язку цих рівнянь необхідно врахувати залежності характеристик матеріалів від навколишнього середовища [13].

Через огорожувальну конструкцію в процесі експлуатації проходять потік вологи і тепла, ці процеси визначаються схожими рівняннями, теплопровідності для потоку тепла і рівнянням дифузії для потоку вологи. У стаціонарних умовах у рівнянні теплопровідності коефіцієнт температуропровідності набуває значення коефіцієнта теплопровідності, а рівняння дифузії в стаціонарному вигляді можна записати через парціальний тиск водяної пари та коефіцієнт паропроникності.

Для об'єднання цих рівнянь необхідно додати в систему аналітичну залежність парціального тиску від температури:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial}{\partial x} \lambda \frac{\partial T}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} \lambda \frac{\partial T}{\partial y} = 0 \\ \frac{\partial}{\partial x} \mu \frac{\partial e}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} \mu \frac{\partial e}{\partial y} = 0 \\ E = 1,84 \cdot 10^{11} \exp\left(\frac{-5330}{T}\right) \\ \varphi = \frac{e}{E} \end{array} \right. \quad (2.15)$$

Моделювання огорожувальних конструкцій проводили в програмному комплексі Comsol Multiphysics. Цей комплекс є середовищем чисельного моделювання систем, пристроїв і процесів у всіх галузях проєктування, виробництва та наукових досліджень. Comsol дає змогу за допомогою чисельних методів створювати складні моделі, що описуються системами диференціальних рівнянь у приватних похідних.

2.5 Вихідні дані для моделювання

Вихідні дані для моделювання було прийнято відповідно до [7,8].

Таблиця 2.4 - Граничні умови

Найменування	Позначення	Значення
Температура внутрішнього повітря	t_int	21°C
Коефіцієнт тепловіддачі внутрішньої поверхні	α_int	8,7 Вт/(м ² °С)
Парціальний тиск водяної пари	e_int	1350 Па
Температура зовнішнього повітря	t_ext	-16 °С
Коефіцієнт тепловіддачі зовнішньої поверхні	α_ext	23 Вт/(м ² °С)
Парціальний тиск водяної пари внутрішнього повітря	e_ext	140 Па

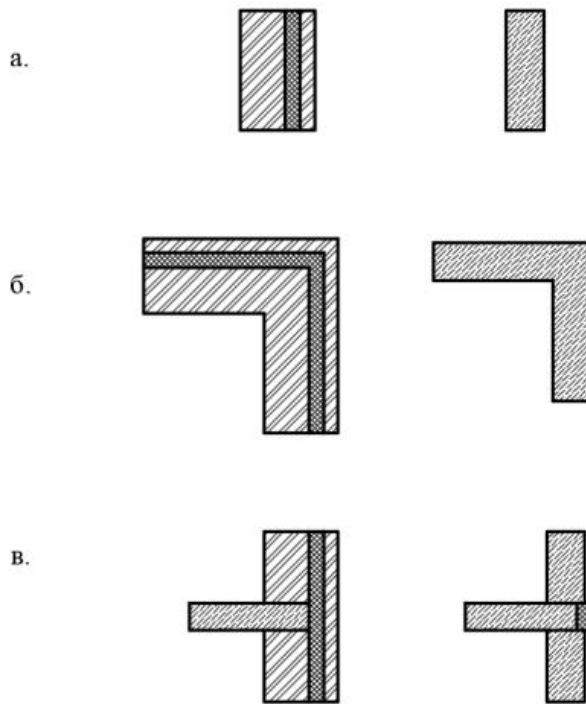
Як граничні умови для теплопереносу задано теплові потоки з коефіцієнтами тепловіддачі зовнішніх і внутрішніх поверхонь.

Для рівняння дифузії на поверхнях приймалися постійні значення парціального тиску.

Таблиця 2.5 - Характеристики матеріалів вузлів

Номер шару	Найменування	Коефіцієнт теплопровідності λ , Вт/(м ^{°С})	Коефіцієнт паропроникності μ , кг/(м·с·Па)
1	Кладка цегли глиняної звичайного на цементно-піщаному розчині	0,7	3,06E-08
2	Мінераловатні плити Rockwool Кавіті Баттс	0,045	8,33E-08
3	Кладка з керамічної пустотілої цегли щільністю 1300 кг/м ³ (брутто) на цементно-піщаному розчині	0,52	4,44 E -08
4	Залізобетон щільністю 2500 кг/м ³	1,92	8,33E-09
5	Вермикулітобетон щільність 600 кг/м ³	0,16	4,17E-08
6	Пароізоляція	0,1	2,50E-09
7	Пінополістирол	0,038	1,39E-08

На рисунку 2.1 представлені досліджувані вузли



а) Стіна б) Кутове з'єднання в) Вузол перекриття
Рисунок 2.1 – Досліджувані вузли

Для рівняння дифузії на поверхнях приймалися постійні значення парціального тиску.

РОЗДІЛ 3

РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРАХУНКІВ

З огляду на все дослідження можна зробити висновки, що сфера застосування спученого вермикуліту досить велика. Його застосовують як засипки в стінових конструкціях, а так само для ізоляції - або звукопоглинання. Так само вермикуліт використовують у будівельних розчинах і бетонах як заповнювач. Висока вогнестійкість мінералу знайшла своє застосування у вогнезахисних покриттях, що спучуються.

Завдяки високій відбивній здатності самих частинок вермикуліту, їхній низькій теплопровідності та пружності, а також завдяки тонким прошаркам повітря між лусочками слюди, розроблені склади характеризуються низькою теплопровідністю і високою вогнестійкістю, а також хімічною стійкістю, нетоксичністю, відсутністю димоутворення.

Істотними перевагами цього матеріалу є його легкість, щільність від 100-60 кг/м, згідно з [18], а також тривалий термін служби.

Основний недолік - гігроскопічність. Вологий, він втрачає свої властивості.

Потрібно особливу увагу приділяти гідро- і пароізоляції.

Виходячи з розрахунків і порівняння двох конструкцій явного лідера не виявлено. Вермикулітобетон може бути використаний при малоповерховому будівництві. З одночасною дшевізною, порівняно з багат шаровою ОК, зменшується і товщина конструкції. Що дасть змогу в процесі будівництва каркасних будинків відійти від будівництва багат шарових конструкцій.

Зовнішні огороження будівель захищають приміщення від атмосферних впливів, а також виконують функції захисту і регулювання повітряного, теплового і вологісного режимів. Вологісний режим впливає на теплофізичні властивості застосовуваних матеріалів [9]. Своєю чергою від теплофізичних властивостей залежать енерговитрати, необхідні на експлуатацію будівлі. Основною

величиною, від якої залежать теплофізичні властивості, є сорбційна вологість, яка, своєю чергою, залежить від температури і вологості матеріалів. Під сорбцією будівельних матеріалів найчастіше розуміють фізичну адсорбцію водяної пари з повітря на внутрішніх капілярах, щілинах, порожнинах та інших поверхнях, а також капілярну конденсацію водяної пари в його порах [10].

3.1 Результати моделювання вологісного режиму огорожувальних конструкцій

В огорожувальних конструкціях приміщень вологісний стан матеріалів залежить від вологісного режиму приміщень і кліматичних характеристик району - будівництва, які приймаються згідно з "Будівельна кліматологія" [15]. Різні поєднання зовнішніх і внутрішніх вологісних режимів формують два типи умов експлуатації огорожувальних конструкцій: А і Б. Умовам експлуатації А відповідають поєднання сухого або нормального вологісного режиму приміщень із сухою зоною району будівництва, а також сухого режиму приміщень із нормальною кліматичною зоною вологості. Усі інші поєднання вологісного режиму приміщень і кліматичних зон вологості формують умови експлуатації Б [14].

У результаті розрахунку було отримано значення відносної вологості ϕ для досліджуваних вузлів, виконаних із вермикулітобетону густиною 600 кг/м³ і традиційної багатошарової конструкції з цегли, як утеплювач - мінераловатні плити.

За результатами розрахунку з використанням програмного комплексу COMSOL у всіх розглянутих вузлах значення відносної вологості, ϕ досягало одиниці. Це свідчить про те, що в цих зонах утворюється конденсат, який зі свого боку призводить до негативних наслідків. На рисунках 3.1; 3.3; 3.5-3.8, зображено області конденсації та ізотерми -5, 0, +5 °С.

Графіки розподілу ϕ за перерізом стіни подано на рисунках 3.2 і 3.4. Мах: 0.9900.2

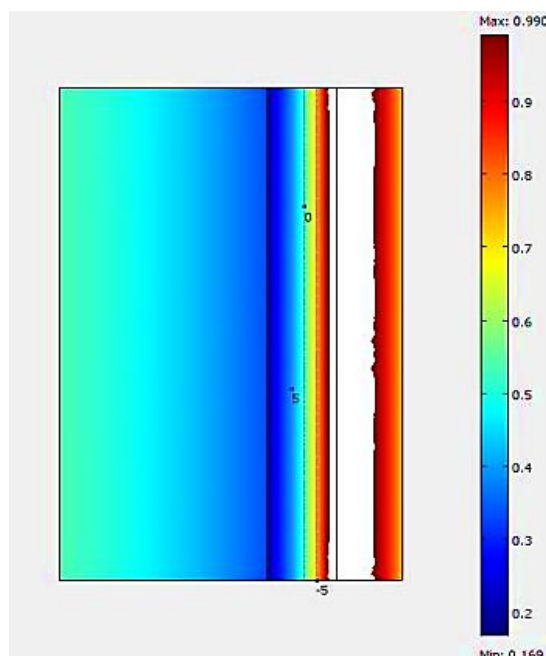


Рисунок 3.1 - Зона конденсації. Багатошарова цегляна стіна

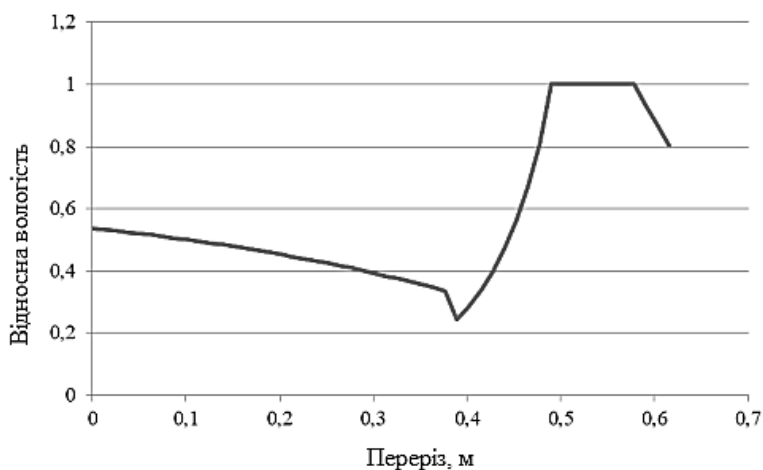


Рисунок 3.2 - Графік розподілу значення ϕ у багатошаровій цегляній стіні

Як видно з рисунка 3.2, у розподілі відносної вологості в перерізі багатошарової конструкції яскраво виражена площина максимального зволоження на межі шарів утеплювача й облицювальної цегли. На межі несучої кладки і

мінераловатних плит можна спостерігати різке зниження вологості, яке пов'язане з наявністю пароізоляції в цій площині. Після чого йде різке підвищення значення Φ , внаслідок різкого зниження температури в утеплювачі.

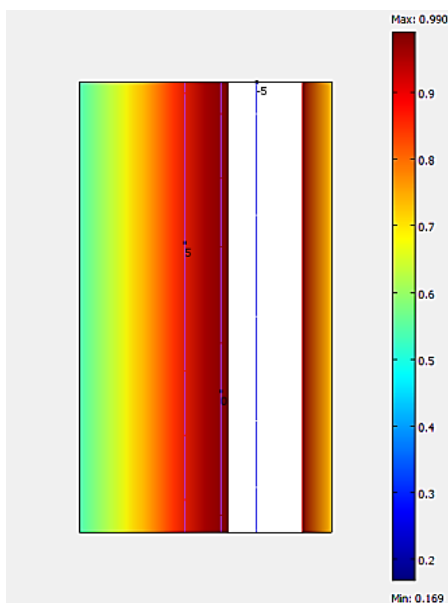


Рисунок 3.3 - Зона конденсації. Стіна з вермикулітобетону

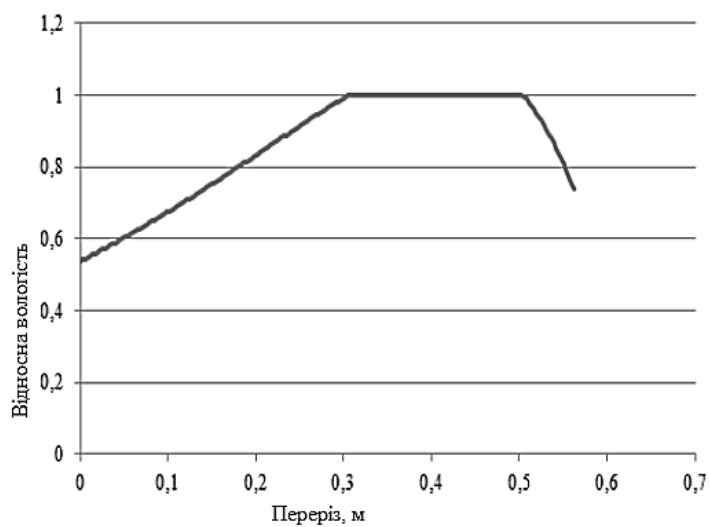


Рисунок 3.4 - Графік розподілу значення ϕ у стіні з вермикулітобетону

У конструкції з вермикулітобетону (рисунок 3.4) вологість розподіляється більш рівномірно за перерізом стіни, це пов'язано з тим, що властивості стіни рівномірні за всім перерізом, відсутня пароізоляція, немає різких перепадів температур, як у разі багат шарової стіни.

Таким чином, конденсат у багат шаровій конструкції утворюється більш інтенсивно, ніж в однорідній. Однак, для представлення повної картини накопичення вологи в огорожувальних конструкціях протягом річного періоду, необхідні більш складні розрахунки в нестационарному режимі, з урахуванням зміни теплофізичних параметрів матеріалів залежно від вологості й температури.

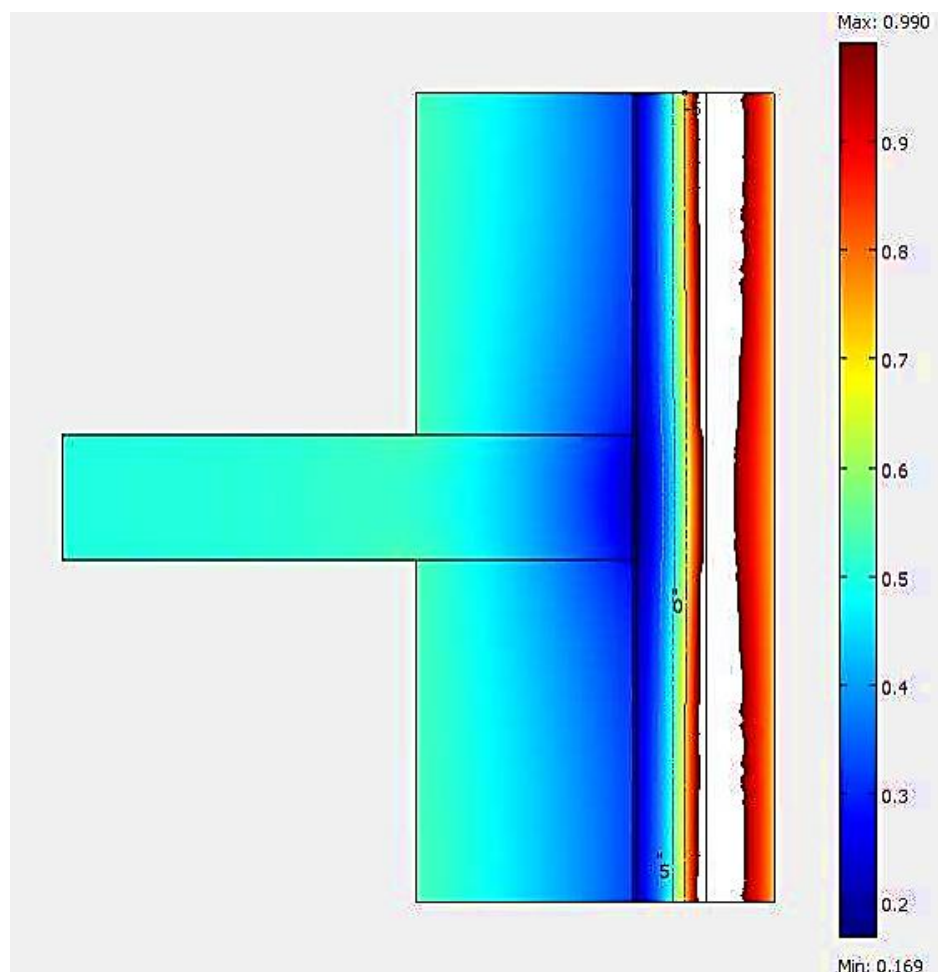


Рисунок 3.5 - Зона конденсації. Вузол сполучення монолітної з/б плити і цегляної стіни

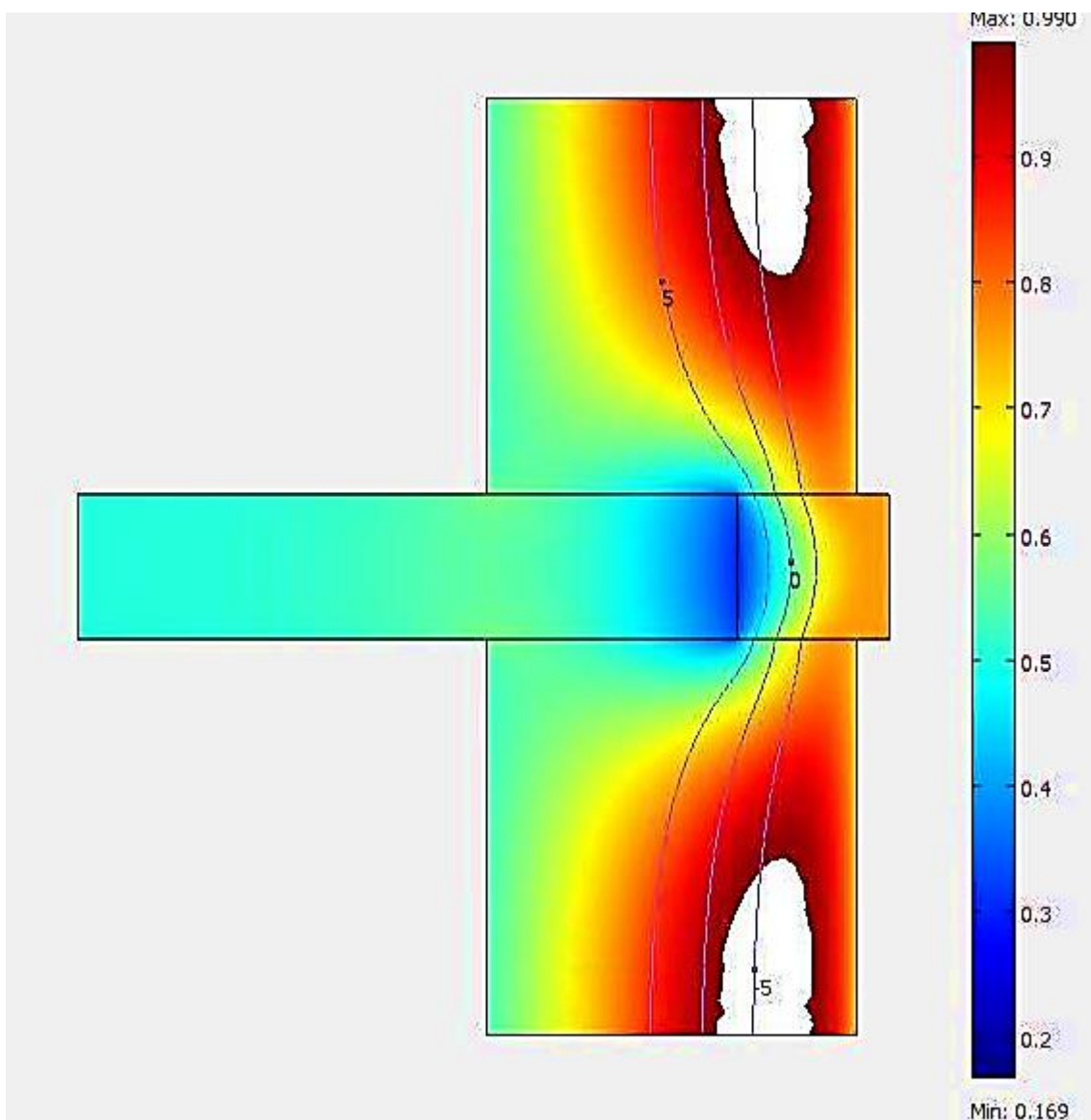


Рисунок 3.6 - Зона конденсації. Вузол сполучення багатолітної з/б плити істіни з вермикулітобетону

На рисунках 3.5, 3.6 представлено розподіли відносної вологості у вузлах сполучення плити перекриття і зовнішньої стіни. У разі огорожувальної конструкції з вермикулітобетону, конденсація вологи в місці плити перекриття відсутня на відміну від цегляної багатошарової конструкції. Це пов'язано з більш інтенсивним прогріванням плити, що видно за результатами усереднених теплових потоків, які зведено в таблицю 3.1.

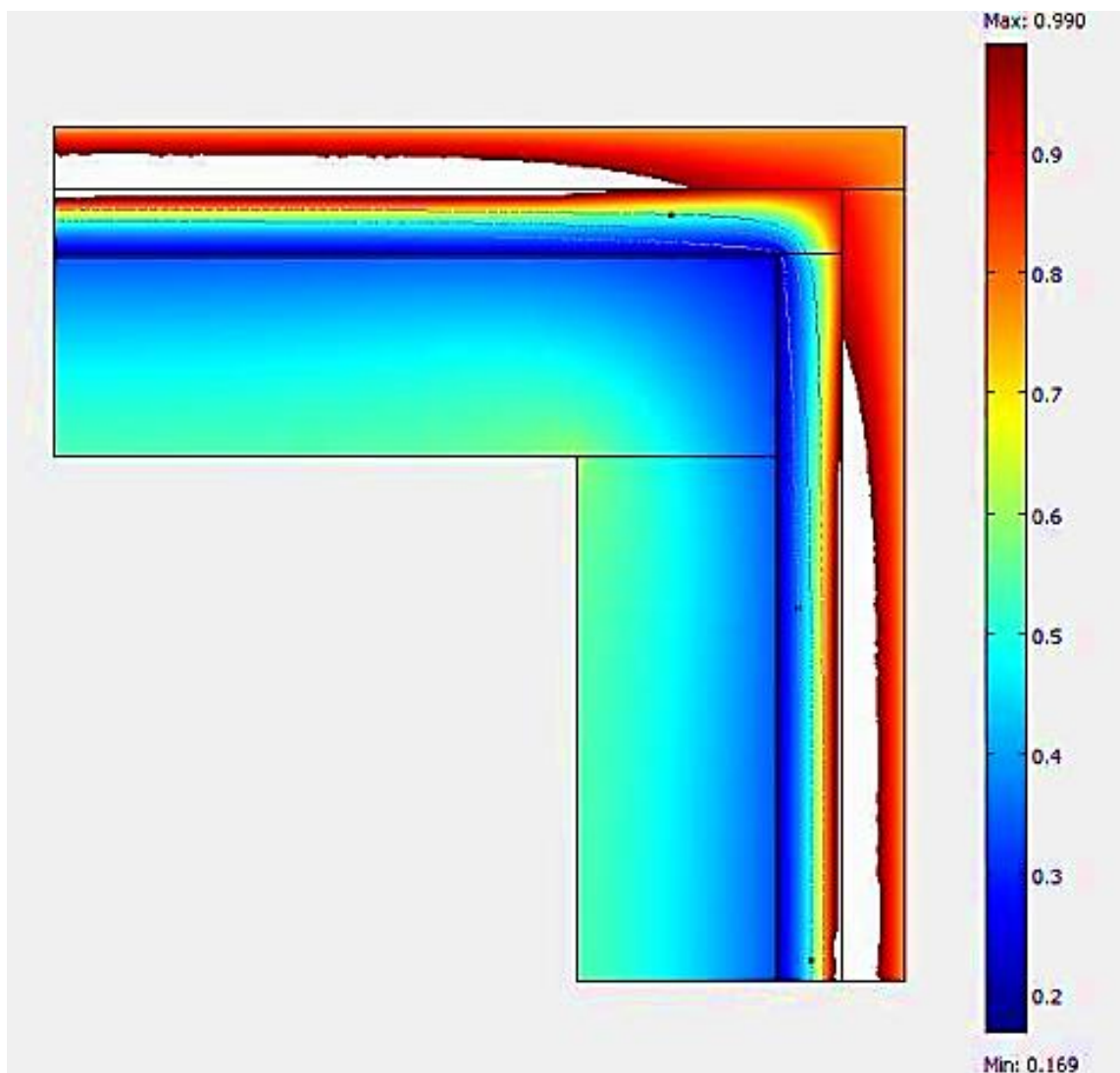


Рисунок 3.7 - Зона конденсації. Кутове сполучення стіни виконане з цегляної кладки

Тут, за аналогією з вузлами перекриттів, через більший тепловий потік у багатошаровій конструкції вологи утворюється менше. Однак, більший тепловий потік означає більші теплові втрати.

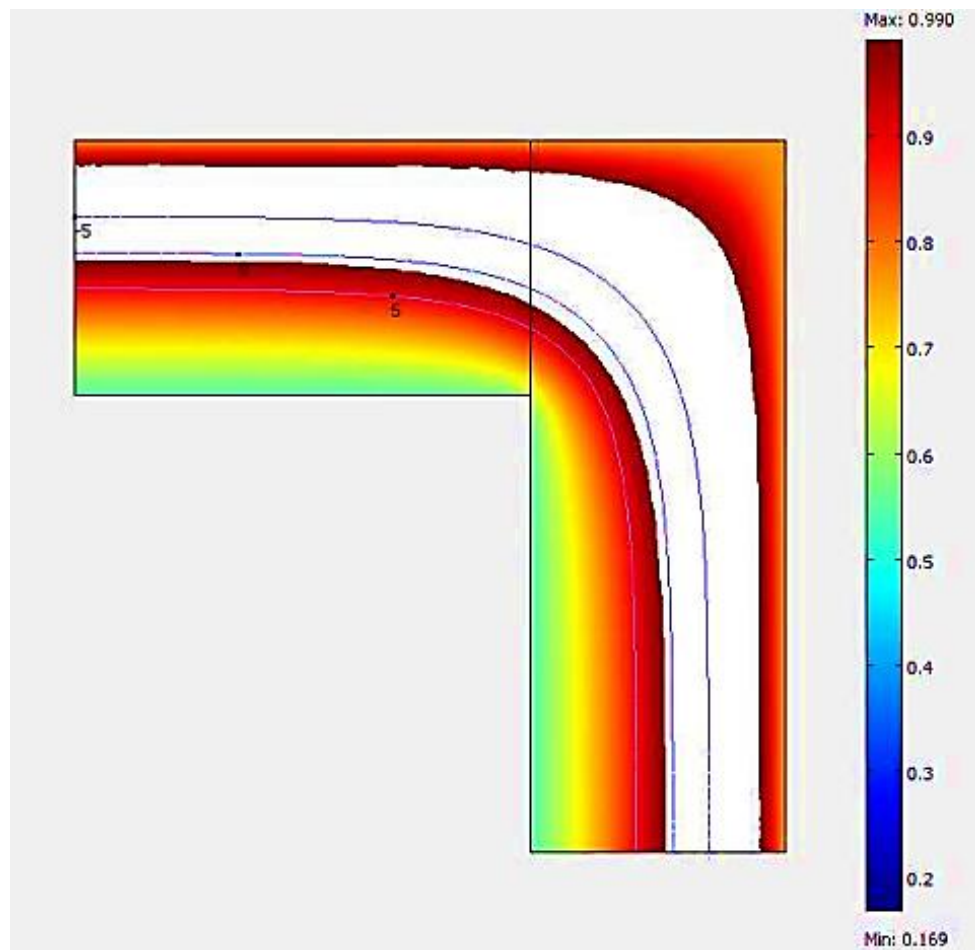


Рисунок 3.8 - Зона конденсації. Кутове сполучення стіни виконане з вермикулітобетону

На рисунках 3.7, 3.8 представлено розподіли відносної вологості в кутових сполученнях огорожувальних конструкцій. У всіх випадках зони зволоження потрапляли в область негативних температур. При замерзанні вода спричиняє руйнуванню матеріалу, це призводить до зниження довговічності матеріалів. Ця проблема широко поширена в регіонах із різко континентальним кліматом. Через тривале міжсезоння висока частота періодів - коливань замерзання і відтавання вологи зумовлює застосування матеріалів з високою морозостійкістю.

Випадання вологи в огорожувальних конструкціях так само негативно позначається на тепловому захисті огорожувальних конструкцій. Зі збільшенням

вологості матеріалу значно збільшується його теплопровідність, що призводить до загального зниження опору теплопередачі в огорожувальній конструкції.

Підвищена вологість огорож вкрай несприятливо позначається і на санітарно-гігієнічному стані приміщень. Сирість у житлових будинках часто призводить до захворювань людей, що проживають у них, і появи цвілі. Крім того, що вища вологість матеріалу огорожі, то меншою є його морозо-, волого- і біостійкість. Стійкість проти корозії також пов'язана з вологісним станом огорожі.

Загалом, за результатами розрахунку можна зробити висновок, що з точки зору вологопереносу конструкції поводяться приблизно однаково.

Відмінною особливістю огорожувальних конструкцій з підвищеними теплозахисними якостями є наявність великої кількості елементів кріплення, каркасів, вузлів сполучень панелей з металу. Використання металевих елементів зумовлює можливість формування в огорожувальних конструкціях містків холоду, що істотно знижують їхній опір теплопередачі. Щоб уникнути зазначеного недоліку, необхідно на стадії проектування виконувати достовірні розрахунки температурних полів і на їхній основі прогнозувати і температурні, і вологісні режими конструкції в процесі експлуатації будівлі.

3.2 Результати моделювання температурного режиму огорожувальних конструкцій

Сучасні програмні комплекси дають змогу інженерам різних галузей розв'язувати поставлені задачі, що потребують обчислень складних диференціальних рівнянь, за допомогою чисельних методів на ЕОМ. У будівельній сфері одними з таких завдань є розрахунки стаціонарного температурного та вологісного режимів огорожувальних конструкцій.

Результати розрахунку стаціонарних температурних полів застосовуються для аналізу конструктивних рішень вузлів, для розрахунків - наведеного опору

теплопередачі складних огорожувальних конструкцій тощо.

У рамках магістерської роботи в програмному комплексі Comsol Multiphysics було розраховано ізополі температур досліджуваних вузлів.

Результати моделювання наведено на рисунках 3.9 - 3.12. У таблиці 3.1 зазначено усереднені по поверхні теплові потоки, що характеризують теплові витрати.

Таблиця 3.1 - Теплові втрати у вузлах

Вузол	Тепловий потік Вт/м ²	
	Багатошарова конструкція	Одношарова конструкція
Стіна	10,10	10,10
Перекриття	10,36	11,00
Кут	13,23	11,46

Примітка: для стін і кутів тепловий потік знято з внутрішніх поверхонь, для перекриттів із зовнішніх

Як було описано вище, у випадку з огорожувальною конструкцією з вермикулітобетону волога не утворюється на ділянці сполучення плити перекриття і стін через краще прогрівання плити, що добре видно з розподілів температур за перерізами вузлів (рисунки 3.9, 3.10).

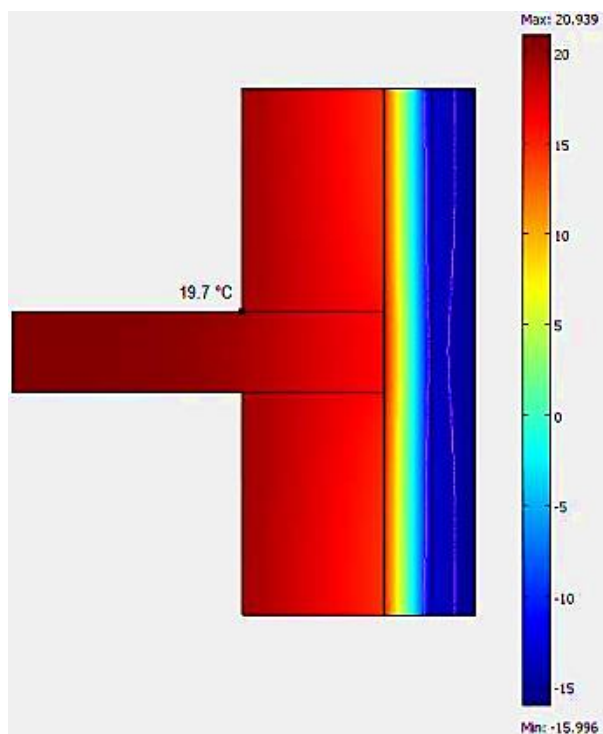


Рисунок 3.9 - Розподіл температур. Вузол з'єднання монолітної з/б плити і цегляної стіни

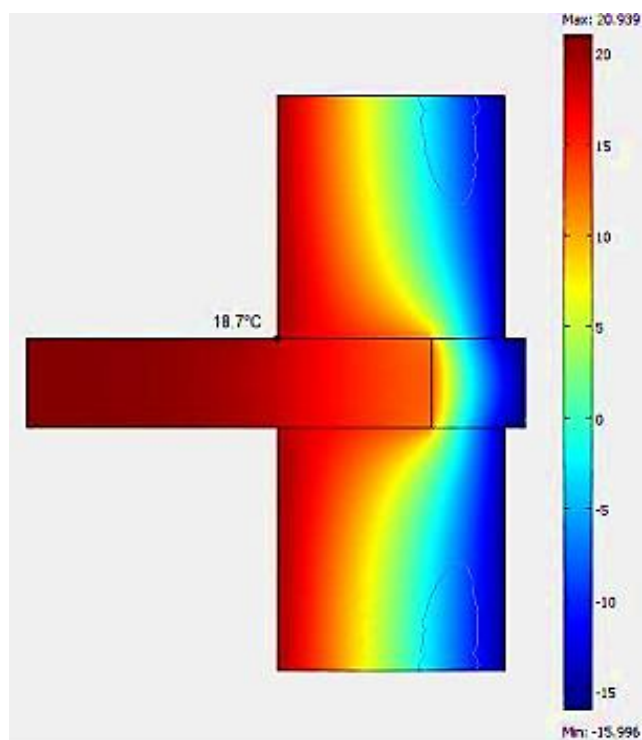


Рисунок 3.10 - Розподіл температур. Вузол з'єднання багатопустотної з/б плити і стін із вермикулітобетону

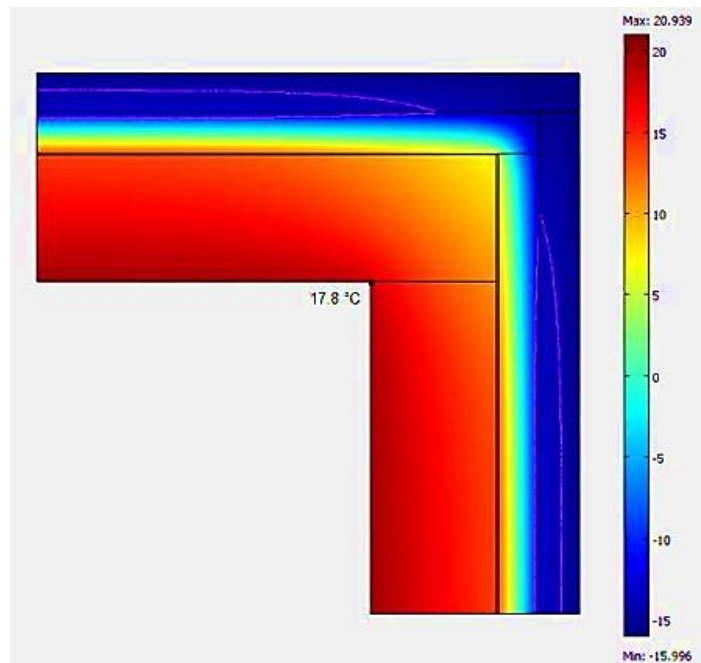


Рисунок 3.11 - Розподіл температур. Кутове з'єднання стіни виконане з цегляної кладки

В огорожувальній конструкції з цегли волога розподіляється рівномірно на межі утеплювача і зовнішнім шаром.

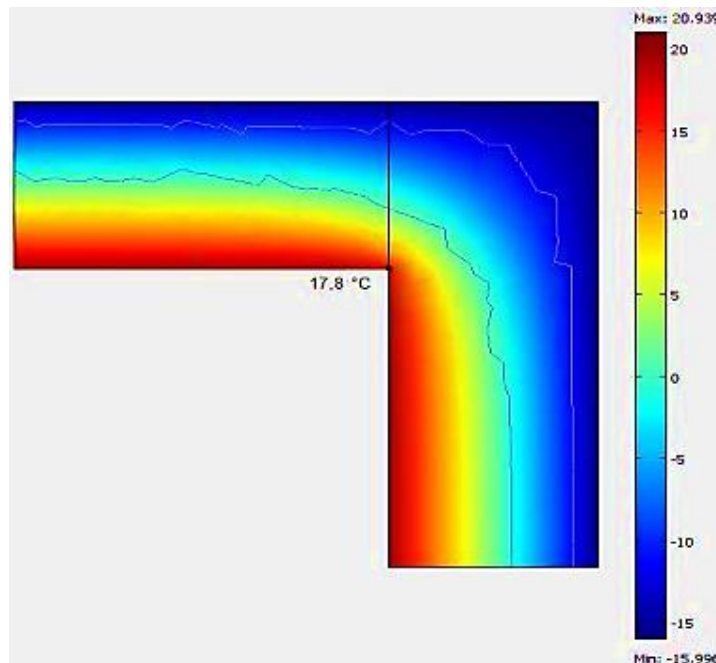


Рисунок 3.12 - Розподіл температур. Кутове з'єднання стіни виконане з вермикулітобетону

Згідно з ДСТУ "Тепловий захист будівель" для забезпечення санітарно-

гігієнічної вимоги до огороджувальних конструкцій нормований температурний перепад для житлових будинків між температурою внутрішнього повітря і температурою внутрішньої поверхні огороджувальної конструкції не повинен перевищувати 4 град. На рисунках 3.9-3.12 зображено точки з мінімальними температурами внутрішніх поверхонь. Результати розрахунку показують, що ці конструкції відповідають санітарно-гігієнічним вимогам під час розрахунку в умовах середньої температури найхолоднішого місяця.

РОЗДІЛ 4

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Охорона праці

4.1.1 Законодавство України про охорону праці

Відповідно до статті Закону України «Про охорону праці» (далі — Закону) законодавство про охорону праці складається з цього Закону, Кодексу законів про працю України, Закону України «Про загальнообов'язкове державне соціальне страхування від нещасного випадку на виробництві та професійного захворювання, які спричинили до втрати працездатності», законів України «Про пожежну безпеку», «Про основні засади державного нагляду (контролю) у сфері господарської діяльності», «Про дозвільну систему у сфері господарської діяльності» та прийнятих відповідно до них нормативно-правових актів. В основі всіх цих документів лежить Конституція України.

Основним документом при зберіганні продуктів харчування з охорони праці є “Державний нормативний акт про охорону праці ДНАОП 0.00-1.34 -02” це є правила безпеки праці під час закладання на зберігання та первинної обробки плодоовочевої продукції. Розроблено Українським науково-виробничим інженерним центром по охороні праці в сільському господарстві (Укрсільгоспохоронпраці) Міністерства аграрної політики України.

4.1.2 Вимоги при закладанні колон

До початку зведення колон майстер повинен бути забезпечений проектною документацією з організації будівництва і виконання робіт.

Без такої документації будівельно-монтажні роботи проводити неприпустимо.

Проектні рішення з техніки безпеки повинні бути конкретними і відповідати реальним умовам роботи. В спеціальному розділі проекту виконання робіт (ПВР)

повинні бути відображені особливо важливі вимоги правил охорони праці і заходи щодо забезпечення їх виконання. Ці заходи повинні містити технічні рішення і основні організаційні заходи щодо забезпечення безпечного проведення робіт і санітарно-гігієнічного обслуговування працюючих.

У ПВР повинно бути визначено:

1. Місця розміщення тимчасової огорожі, установки кранів, розташування ліній електропередач, доріг, проходів, санітарно-побутових приміщень.
2. Місця складування будівельних конструкцій і матеріалів.
3. Межі небезпечних зон.
4. Схеми електропостачання і освітлення будівельного майданчика і робочих місць, із зазначенням типів світильників і місця їх установки.
5. Безпечні проходи до робочих місць і способи підйому на поверхи будівель, що зводяться.
6. Безпечна послідовність вантажопідйомних операцій.
7. Перелік особливо небезпечних робіт, на виконання яких робітникам необхідно видавати письмовий наряд-допуск.
8. Послідовність розбирання опалублення.
9. Організація робочих місць монтажників будівельних конструкцій.
10. Розташування і зони дії монтажних механізмів.
11. Методи і пристосування для безпечної роботи монтажників:
 - послідовність технологічних операцій при монтажі будівельних конструкцій;
 - місця і способи тимчасового кріплення елементів, які монтуються;
 - протипожежні заходи і засоби пожежогасіння;
 - типи санітарно-побутових приміщень із зазначенням їх складу, кількості та місць установки;
 - заходи щодо зниження виробничого шуму, вібрації та ін.

Для попередження небезпеки падіння з висоти працюючих у ПВР повинно бути передбачено скорочення обсягів операцій верхолазів.

Для попередження небезпеки падіння з висоти виробів і матеріалів при переміщенні їх кранами повинно бути передбачено:

- 1) тара для переміщення штучних і сипучих матеріалів;
- 2) вантажозахватні пристосування;
- 3) пристосування для стійкого зберігання елементів конструкцій ;
- 4) способи видалення відходів і будівельного сміття;
- 5) необхідність використання захисних перекриттів або козирків при виконанні робіт по одній вертикалі.

На будівельному майданчику всі працівники зобов'язані бути в касках та у відповідних місцях встановити знаки безпеки.

4.1.3 Вентиляційна установка

Для подачі повітря застосовують підпільні або підлогові повітророзподільні канали постійного або змінного поперечного перерізу.

Перетин підпільних каналів рекомендується виконувати прямокутним, а підлогових-трикутним, кут при вершині рекомендується приймати рівним 90 °. Повітророзподільних і решітки розміщують в покритті каналів.

Площа живого перерізу повітророзподільних решіток, m^2 , визначають за формулою:

- а) при влаштуванні повітророзподільних каналів для одного каналу

$$S_{ж} = A \cdot v \cdot q / (k_1 \cdot V_p \cdot 3600) \quad (4.1)$$

де A - розмір насипу продукції в плані вздовж каналу, м;

v - відстань між осями сусідніх каналів, м (ОНТП 6-86);

q - інтенсивність вентилявання насипу продукції, $m^3 / (m^2 \text{ год})$;

k_1 - коефіцієнт, що враховує закриття живого перетину решітки

з продукцією; $\kappa_I = 0,5$;

V_p - середня швидкість повітря в живому перетині решіток, м / с;

Інтенсивність вентилявання насипу продукції визначають за формулою 4.2:

$$q = v G / (AB) \quad (4.2)$$

де v - питома витрата повітря, м^3 ; G - маса насипу продукції, т. $v = a \times b \times h$

Кількість розподільних каналів m , шт., визначають зі співвідношення $m = B / v$.

Площа поперечного перерізу підлогового каналу повинна задовольняти умову $S_k \geq 0,12 S_{\text{ж}}$

Повітророзподільні канали повинні мати на вході повітря шибер або дросель-клапан з ручним або автоматичним управлінням.

Коефіцієнт місцевого опору (КМО) підпільних каналів, віднесений до середньої швидкості у вхідному перерізі, рекомендується приймати залежно від сумарної відносної площі вихідних отворів по табл. 1. КМО підлогових каналів з поперечним розташуванням планок, що утворюють щілини для виходу повітря, також рекомендується визначати за табл. 1. КМО підлогових каналів з поздовжнім розташуванням планок і внутрішнім каркасом рекомендується приймати рівним 1,5 і відносити до швидкості в першому по ходу повітря звуженому перетині, утвореному каркасом.

Таблиця 4.1 – Коефіцієнт місцевих опорів каналів

Найменування	Позначення	Коефіцієнт							
		1	1,5	2	3	4	5	6	10
Відносна площа виходу	$S_{\text{ж}}/S_k$	19	10	6	4	3	2,5	2	1,1
Коефіцієнт місцевого опору	ξ	19	10	6	4	3	2,5	2	1,1

До магістральних відносять канали, розташовані між вентилятором і повітророзподільними каналами. Магістральні канали повинні бути прохідними.

До магістрального каналу повинен бути приєднано не менше двох вентиляторів. Слід передбачати дублювання роботи вентиляторів. З'єднання вентилятора з магістральним каналом рекомендується виконувати перехідною ділянкою з мінімальним аеродинамічним опором. Для подачі повітря в насип продукції слід встановлювати осьові вентилятори низького тиску, які розвивають необхідний тиск в межах 200÷400 Па.

Рекомендується застосовувати вентилятори з колесом на валу електродвигуна.

Продуктивність вентилятора, м³/с, що подає повітря в насип продукції, визначають виходячи з питомої витрати повітря за формулою

$$L = G v / 3600 S \quad (4.3)$$

де S - кількість вентиляційних установок.

Опір повітророзподільного каналу знаходять за формулою:

$$H_{в.к} = \xi P_{д.в.х} = \xi \rho V_k^2 / 2 \quad (4.4)$$

де ξ - коефіцієнт опору каналу визначають за таблицею 1 коефіцієнти місцевих опорів каналів; $P_{д.в.х}$ - середнє динамічний тиск на вході в канал, Па; V_k - середня швидкість повітря на вході в канал, м/с.

Щільність переміщуваного вентилятором повітря, кг/м³, визначають за формулою:

$$\rho = 0,35 P_{бар} / (273+t) \quad (4.5)$$

де $P_{бар}$ - барометричний тиск, ГПа; t - температура повітря, °С.

Підбір вентиляційного обладнання при розрахункових значеннях продуктивності вентилятора і опору мережі слід проводити, користуючись

характеристиками вентиляторів у відповідності з діючими нормативними документами.

Потужність електродвигуна вентилятора N_v , кВт, визначають за формулою

$$N_v = L N_{v.k} / \eta_v \eta_{п} 10^3 \quad (4.6)$$

де η_v - ККД вентилятора; $\eta_{п}$ - ККД передачі.

ККД вентилятора і частоту обертання колеса визначають за характеристикою вентилятора.

4.2 Безпека в надзвичайних ситуаціях

4.2.1 Законодавство України про безпеку в надзвичайних ситуаціях

Одним з головних законодавчих документів з безпеки в надзвичайних ситуаціях являється "Кодекс цивільного захисту України". У цьому кодексі є роз'яснення до повноважень суб'єкту, контроль та відповідальність за порушення законодавства у сфері цивільного захисту. Кодекс складається з 33 глав, в яких 140 статті. Прикінцеві та перехідні положення кодексу :

1) Закон України "Про цивільну оборону України" (Відомості Верховної Ради України, 1993 р.)

2) Постанова Верховної Ради України "Про порядок введення в дію закону України "Про Цивільну оборону України" (Відомості Верховної Ради України, 1993 р.)

3) Закон України "Про пожежну безпеку" (Відомості Верховної Ради України, 1994 р., № 5, ст. 21 із наступними змінами);

4) Постанова Верховної Ради України "Про порядок введення в дію Закону України "Про пожежну безпеку" (Відомості Верховної Ради України, 1994 р.)

8) Закон України "Про захист населення і територій від надзвичайних ситуацій

техногенного та природного характеру" (Відомості Верховної Ради України, 2009 р.)

9) Закон України "Про правові засади цивільного захисту" (Відомості Верховної Ради України, 2004 р. із змінами, внесеними Законом України від 5 липня 2012 року № 5081-VI).

4.2.2 Загальні положення

Проблема з забезпечення стійкості роботи підприємств для зберігання продуктів харчування і захисту його персоналу в умовах застосування сучасних засобів масового ураження, чи вибуху на залізниці вогнебезпечних речовин при перевезенні є актуальним і в даний час.

Незважаючи на те, що за останні роки між ядерними державами було досягнуто низку домовленостей про скорочення ядерної зброї, про те Україна піддається військовій агресії. Проблема захисту населення і забезпечення надійного функціонування підприємств для зберігання продуктів харчування є актуальним і в мирний час. Значні руйнування таких підприємств для зберігання продуктів харчування можуть нести великі втрати серед населення. Можуть стати причиною суттєвого скорочення випуску сільськогосподарської продукції, привести до величезних витрат на необхідні великі масштаби проведення рятувальних і невідкладних аварійно-відновлювальних робіт в осередках ураження і привести до повного краху виробничо-економічної системи держави. У зв'язку з цим виникає необхідність завчасно вжити відповідні заходи щодо захисту населення, забезпечення стійкості роботи сільськогосподарських об'єктів в умовах надзвичайних ситуацій мирного часу та у воєнний час, що складає суть основних завдань цивільної оборони.

Стала робота підприємств для зберігання продуктів харчування дозволяє забезпечити населення і збройні сили України продуктами харчування, а промисловість - сировиною. За сучасних умов, коли вплив вражаючих чинників

джерел НС незмірно виросло, а наша економіка, зокрема і виробництво, стали уразливими, завдання забезпечення їх стійкості стає актуальнішим.

Під сталістю роботи підприємств для зберігання продуктів харчування розуміється здатність їх у надзвичайних ситуаціях мирного й військового часу забезпечувати виробництво продукції в встановлених обсягах і номенклатурі і відновлювати свою виробничу діяльність у мінімально стислі терміни після впливу вражаючих чинників джерел надзвичайних ситуаціях.

Більше підготовленими, здатними протистояти негативним впливам будуть підприємства для зберігання продуктів харчування, які завчасно реально визначають і виконують заходи, які знижуватимуть наслідки стихійних лих, аварій та катастроф. Стала робота у надзвичайних обставинах мирного й військового часу залежить від багатьох чинників. Найважливіші чинники:

- природно-кліматичні;
- техніко-економічні;
- організаційно-господарські.

4.2.3 Вплив ударних хвиль при вибуху

Ударна хвиля – це поширення із надзвуковою швидкістю тонкої перехідної області, у якій відбувається різке збільшення щільності, тиску і швидкості речовини.

Під час вибуху вибухонебезпечних речовин утворюються високо нагріті продукти, які мають величезну щільність, що збільшується під високим тиском. У початковий момент вони оточені повітрям при нормальній щільності і атмосферним тиском. Розширюючись продукти вибуху стискають навколишнє повітря. З часом обсяг стиснутого повітря зростає. Прямий вплив ударної хвилі на працюючих носить травматичний характер, а вплив на споруди — руйнівний характер.

Прямий вплив ударної хвилі на людину призводить до травматичних наслідків, тяжкість яких залежить від величини тиску у фронті ударної хвилі. Усі травми

поділяються за ступенем тяжкості на легкі, середні, лихоліття і дуже важкі.

При тиску у фронті ударної хвилі 20–40 кПа люди можуть отримати незначні ушкодження: забиті місця, вивихи кінцівок, тимчасове ушкодження слуху, легкі контузії.

Середні травми робітники мають при тиску 40–60кПа, які характеризуються серйозними контузіями, ушкодженнями слуху, кровотечею з носа і вух, вивихами, переломами кінцівок.

Важкі травми наступають при тиску 60–100кПа і характеризуються важкими контузіями, значними переломами кінцівок, сильною кровотечею з носа і вух.

Вкрай важкі травми людина має при надмірному тиску понад 100 кПа і ті травми, зазвичай, закінчуються смертю.

Прямий вплив надлишкового тиску у фронті ударної хвилі і швидкісний натиск споруди та будівлі призводить до їхньої часткової чи повної руйнації. Руйнування будинків, споруд залежить від величини тиску руйнування можуть бути слабкими, середніми, сильними і повними.

Ступінь руйнації виробничих комплексів залежно від надлишкового тиску можна оцінити наступним чином:

1. Для промислових будівель з металевим чи залізобетонним каркасом: при надмірному тиску 50...60кПа – сильне, 40...50кПа – середнє, 20...40кПа – слабке;
2. Для антенних пристроїв: при надмірному тиску 40кПа – сильне, 20...40 кПа – середнє, 10...20 кПа – слабке;
3. Для відкритих складів із залізобетонним перекриттям: при надмірному тиску 200 кПа – сильне.

Для зменшення дії ударної хвилі слід виконувати вимоги будівельних вимог та будувати згідно проекту не знижуючи характеристик міцності для здешевлення будівництва.

Під впливом ударної хвилі створюються осередки ураження, руйнації, розміри яких залежать від потужності і виду вибуху, рельєфу місцевості.

ВИСНОВКИ

Вивчено основні аспекти із застосування будівельних огорожувальних конструкцій з використанням вермикуліту.

Під час виконання роботи було розглянуто конструктивні вузли огорожувальних конструкцій (вузол стіни, вузол з'єднання плити перекриття і стін, кутове сполучення стіни).

Виявлено, що без застосування вермикуліту у всіх випадках зони зволоження потрапляли в область негативних температур, що спричиняє руйнуванню матеріалу через замерзання вологи в товщі конструкції, це призводить до зниження довговічності матеріалів.

Представлено вузли із заповненням вермикулітом для скінченно-елементного розрахунку. Також визначено основні аспекти розподілу вологи в конструкції стіни в залежності від її теплотехнічних властивостей. Порівняно з багат шаровою стіною волога в конструкції з вермикулітобетону розподіляється рівномірно через відсутність різких перепадів температур і наявність суцільного перерізу.

Розроблено заходи охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях.

БІБЛІОГРАФІЯ

1. Ковальчук Я. О. Методичний посібник для виконання кваліфікаційної роботи магістра за спеціальністю 192 “Будівництво та цивільна інженерія” / Я. О. Ковальчук, Г. М. Крамар, О. М. Мещерякова. - Тернопіль : ТНТУ, 2020. – 56 с.
2. Barantsev, Y. (2016). Thermal insulation properties of expanded perlite and vermiculite based composites. *Construction and Building Materials*, 115, 670-674.
3. Han, J., & Chen, S. (2017). Thermal insulation properties of lightweight ceramsite concrete. *Applied Mechanics and Materials*, 854, 374-379.
4. Kazmi, S. M. A., Tahir, M. B., & Khurram, A. A. (2016). Thermal conductivity of perlite and vermiculite based insulation materials: A review. *Journal of Building Engineering*, 5, 131-139.
5. Li, Y., Li, J., & Wang, Z. (2016). Thermal insulation properties of lightweight expanded vermiculite concrete. *Journal of Wuhan University of Technology-Mater. Sci. Ed.*, 31(5), 998-1003.
6. Lu, H., Wang, J., Jiang, Y., & Cai, G. (2017). Thermal conductivity and mechanical properties of perlite-based insulation mortar. *Construction and Building Materials*, 154, 879-884.
7. Lu, H., Wang, J., Jiang, Y., & Cai, G. (2017). Thermal conductivity and mechanical properties of perlite-based insulation mortar. *Construction and Building Materials*, 154, 879-884.
8. ДБН В.2.6-33:2018 Конструкції зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією. Вимоги до проектування.
9. Zhang, L., Zhou, Y., Chen, J., & Zhao, Y. (2018). Investigation on the thermal insulation performance of vermiculite-based mortars. *Construction and Building Materials*, 174, 1-8.
10. Zhou, D., Zhang, P., & Liu, S. (2017). Thermal insulation properties of lightweight cementitious composites based on perlite and vermiculite. *Construction and Building Materials*, 154, 879-884.

Building Materials, 143, 149-156.

11. Leung, C. K. Y., & Poon, C. S. (2006). Feasible use of recycled aggregates and powder produced from construction and demolition waste for the production of lightweight thermal-insulating bricks. *Building and Environment*, 41(4), 427-434.

12. ДБН В.1.2-11:2021 Основні вимоги до будівель і споруд. Енергозбереження та енергоефективність

13. ДСТУ EN 15459-1:2017 (EN 15459-1:2017, IDT) Енергоефективність будівель. Процедура економічного оцінювання енергетичних систем будівлі. Частина 1. Процедури розрахунку, Модуль М 1-14

14. Будівельна кліматологія: ДСТУ-Н Б В.1.1-27: 2010.– [2011-11-01]. / Мінрегіонбуд України. – К.: Укрархбудінформ, 2011. – 123 с.

15. ДСТУ 9191:2022 Теплоізоляція будівель. Метод вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будівель

16. ДСТУ 9190:2022 Енергетична ефективність будівель. Метод розрахунку енергоспоживання під час опалення, охолодження, вентиляції, освітлення та гарячого водопостачання

17. Koohang, A., & Madhkhan, M. (2015). Experimental investigation on thermal conductivity of lightweight concrete containing expanded perlite, fly ash, and silica fume. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 27(1), 04014126.

18. Jayaprakash, J., & Muthukumar, M. (2016). Experimental study on thermal properties of lightweight concrete containing expanded perlite and fly ash. *Procedia Engineering*, 145, 154-161.

19. Хартей, Е. Е., and Михайло Іванович Гудь. "Озелення фасадів багатоповерхових житлових будинків." *Матеріали V Міжнародної студентської науково-технічної конференції "Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання"* (2022): 17-18.

20. Narayanan, N. A., & Ramamurthy, K. (2000). Effect of particle size on thermal conductivity of exfoliated vermiculite-filled polypropylene composites. *Journal*

of Applied Polymer Science, 75(9), 1189-1193.

21. Su, J. F., Chen, J. H., & Chen, Y. L. (2015). Effects of vermiculite and graphite on the thermal insulation properties of polypropylene composites. *Journal of Materials Science*, 50(16), 5545-5554.

22. Naderi, R., Saffari, M., Soltani, A., & Tavakoli, M. (2021). Thermal properties of cement mortar incorporating expanded vermiculite as a lightweight aggregate. *Construction and Building Materials*, 295, 123704.

23. Hedayati, R., Farzadnia, N., & Ali, M. (2021). Experimental study on thermal insulation and mechanical properties of the composite made of cement, expanded perlite and silica fume. *Construction and Building Materials*, 301, 124023.

24. Zhou, J., Wu, Y., Chen, J., & Li, D. (2019). The effects of composite insulation materials on thermal insulation and fire performance of concrete. *Journal of Cleaner Production*, 230, 1414-1425.

25. Feng, J., Zhang, Y., & Wang, F. (2020). Experimental study on thermal properties of lightweight concrete containing ceramic hollow beads and expanded perlite. *Construction and Building Materials*, 250, 118898.

26. Liu, J., Yao, W., Zhang, H., & Xu, Y. (2016). Thermal conductivity and compressive strength of perlite concrete with steel fiber. *Energy and Buildings*, 127, 125-132.

27. Zhang, Q., Song, J., Yang, K., Liu, J., & Zhang, X. (2021). The effects of expanded perlite and polypropylene fibers on the thermal and mechanical properties of fly ash geopolymer. *Construction and Building Materials*, 272, 121938.

28. Стручок В.С. Безпека в надзвичайних ситуаціях. Методичний посібник для здобувачів освітнього ступеня «магістр» всіх спеціальностей денної та заочної (дистанційної) форм навчання / В.С.Стручок. — Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2022. — 156 с.

29. Методичні вказівки для написання розділу дипломного проекту з дисципліни «Охорона праці в галузі» / В. Б. Каспрук. - Тернопіль: ТНТУ, 2017. - 14 с.