



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)

« »

2024 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 Козельському Василю Олеговичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Дослідження довговічності утеплювачів багат шарових зовнішніх стін»

Керівник роботи Баран Денис Ярославович, к.т.н.

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

Затверджені наказом ректора від « 15 » 04 2024 року № 4/7-346

2. Термін подання студентом завершеної роботи \_\_\_\_\_

3. Вихідні дані до роботи \_\_\_\_\_

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

Стан питання основного напрямку дослідження. Прогнозування терміну служби зовнішніх стін за критерієм теплозахисту. Розрахунок довговічності багат шарових стін

Натурне дослідження температурного режиму багат шарової стіни.

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
Нормоконтроль	Мещерякова О.М. ст.викл.		
Охорона праці	Каспрук В.Б. доцент		
Безпека в надзвичайних ситуаціях	Стручок В.С. 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	Прогнозування терміну служби зовнішніх стін		
3	Розрахунок довговічності багат шарових стін		
4	Дослідження температурного режиму багат шарової стіни		
5	Загальні висновки		

Студент \_\_\_\_\_  
(підпис)

Козельський В. О.  
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи \_\_\_\_\_  
(підпис)

Баран Д. Я.  
(прізвище та ініціали)

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	4
РОЗДІЛ 1 ПРОГНОЗУВАННЯ ТЕРМІНУ СЛУЖБИ ЗОВНІШНІХ СТІН ЗА КРИТЕРІЄМ ТЕПЛОЗАХИСТУ .....	7
1.1 Вимоги нормативної документації до критерію теплозахисту стін .....	9
1.2 Доцільний термін служби зовнішніх стін будівлі .....	12
1.3 Обґрунтування терміну служби зовнішніх стін за критерієм втрати необхідного теплозахисту .....	15
1.4 Стінові багатошарові конструкції .....	16
1.5 Фактори, що впливають на довговічність багатошарових стін .....	21
1.6 Методи прогнозування довговічності багатошарових стін будівель .....	26
1.7 Висновки до першого розділу .....	27
РОЗДІЛ 2 РОЗРАХУНОК ДОВГОВІЧНОСТІ БАГАТОШАРОВИХ СТІН .....	28
2.1 Теплотехнічний розрахунок багатошарових конструкцій стін .....	28
2.2 Розрахунок терміну служби зовнішніх стін із полімеровмісним утеплювачем за критерієм теплозахисту .....	37
2.3 Висновки до розділу 2 .....	43
РОЗДІЛ 3 НАТУРНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМУ БАГАТОШАРОВОЇ СТІНИ .....	44
3.1 Характеристики експериментального майданчика .....	44
3.2 Результати дослідження теплового режиму багатошарової стіни .....	47
3.3 Теплотехнічний розрахунок з урахуванням зниження теплозахисних властивостей утеплювача під час експлуатації .....	51
3.4 Висновки до третього розділу .....	59
РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ .....	62
4.1 Охорона праці .....	62
4.1.1 Інженерні рішення з охорони праці .....	62
4.2 Безпека в надзвичайних ситуаціях .....	64
4.2.1 Законодавча база України .....	64
4.2.2 Заходи при землетрусі .....	64
4.3 Висновки до розділу 4 .....	65
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ .....	66
БІБЛІОГРАФІЯ .....	67

## ВСТУП

Актуальність роботи. Всі будівельні конструкції повинні задовольняти вимогам нормативної документації протягом усього періоду експлуатації. Однією з основних вимог, що висувуються до стінових конструкцій - це забезпечення комфортного клімату всередині будівлі.

У сучасній будівельній сфері гостро стоять питання теплозахисту будівель. Опір теплопередачі огорожувальних будівельних конструкцій є однією з основних вимог щодо забезпечення безпеки будівель і споруд. Дедалі частіше для задоволення вимог теплопровідності під час будівництва та реконструкції застосовують багатошарові огорожувальні конструкції. Такі конструкції складаються з несучого шару, теплоізоляції та облицювання. Найменший коефіцієнт теплопровідності має шар утеплювача, і пошкодження цього шару критично позначаються на теплозахисті всієї конструкції.

У будівельній сфері застосовують широкий спектр теплоізоляційних матеріалів. Під час експлуатації утеплювачі руйнуються під дією зовнішніх і внутрішніх факторів. Внутрішніми факторами є процеси, пов'язані з природною деструкцією. Зовнішні чинники - це дія рідких агресивних середовищ, а також атмосферні впливи (коливання температури і вологості) і старіння (фото- і теплостаріння). При тривалому впливі цих факторів відбувається зміна структури матеріалу і, як наслідок, його фізико- механічних властивостей. Властивості утеплювачів змінюються від впливу неконтрольованих випадкових факторів. Під час проектування нових і реконструкції наявних будівель теплоізоляція практично не піддається точній чисельній оцінці на довговічність і гарантований термін служби. З метою досягнення ефективної теплової модернізації, фізико-механічні характеристики стін потрібно визначати з достатнім ступенем точності. Проведені раніше експериментальні дослідження не дають найчіткішої і найточнішої відповіді про ступінь придатності і довговічності теплоізоляційних будівельних конструкцій і виробів. У зв'язку з цим дослідження в галузі визначення довговічності теплоізоляційного матеріалу є вельми актуальними.

**Мета роботи** вивчення методик прогнозування довговічності багат шарових стін за критерієм втрати теплозахисту та визначення чинників, що впливають на довговічність.

**Об'єкт досліджень** – багат шарові стінові конструкції.

**Предмет дослідження** – довговічність утеплювача в багат шарових стінових конструкціях.

**Доцільність проведення досліджень** зумовлена тим, що отримані результати дадуть можливість підвищити енергоефективність будівель.

**Завдання роботи:**

- визначити параметри довговічності огорожувальних стін;
- провести аналіз наявних методів теоретичних та експериментальних досліджень довговічності теплоізоляційних матеріалів і визначити оптимальні для органічних і неорганічних утеплювачів;
- визначити чинники, що впливають на довговічність стін, виявити структурні зміни матеріалу під впливом різних зовнішніх і внутрішніх чинників;
- розробити рекомендації щодо прогнозування терміну служби багат шарових теплоефективних зовнішніх стін будівель.

**Методи дослідження** – використано експериментальні та чисельні методи визначення довговічності багат шарових стін. Під час обробки експериментальних даних застосовували як аналітичні, так і чисельні методи.

**Галузю застосування** результатів роботи є проектування нових, реконструкція та експлуатація існуючих будівель з огорожувальними багат шаровими конструкціями.

**Наукова новизна отриманих результатів.** Експериментально встановлено, що кількість циклів заморожування-відтавання, що застосовується в методиках визначення довговічності утеплювачів, не відповідає реальним експлуатаційним умовам. Що в разі застосування методики проведення теплотехнічного розрахунку з урахуванням старіння матеріалу довговічність багат шарових стін задовольнятиме вимогу теплозахисту протягом 50 років

**Практичне значення отриманих результатів** полягає в тому, що виконано

дослідження багат шарових конструкцій стін із утеплювачем, що дають змогу підвищити довговічність утеплювача, за рахунок чого відбуваються покращення енергоефективності будівель.

**Апробація результатів** магістерської роботи виконана на VII Міжнародній студентській науково-технічній конференції «Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання» (Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 25-26 квітня 2024 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:** утеплення, енергоефективність, довговічність.

## РОЗДІЛ 1

### ПРОГНОЗУВАННЯ ТЕРМІНУ СЛУЖБИ ЗОВНІШНІХ СТІН ЗА КРИТЕРІЄМ ТЕПЛОЗАХИСТУ

Поняття довговічність щодо багат шарових огорожувальних конструкцій розглядається в [2].

Розрізняють:

- фізичну довговічність;
- моральну довговічність.

Найбільш важливими кількісними показниками довговічності огорожувальних конструкцій є:

- середній термін служби;
- середній термін служби до першого середнього (капітального) ремонту;
- середній термін служби між капітальними ремонтами;
- середній термін служби до вичерпання експлуатаційної здатності.

Здебільшого довговічність визначається за результатами випробувань матеріалів на морозостійкість, вологостійкість тощо [15-18]. З огляду на те, що ці випробування проводять із використанням методик, які не відповідають реальним експлуатаційним умовам, повністю довіряти достовірності експериментальних даних не можна.

У таких роботах як [21], під час опису змін експлуатаційних якостей огорожувальних конструкцій і будівель загалом використовують аналогічне поняття - знос. Максимальну інформативність у поняття довговічність вносять нормативні документи з надійності в техніці [22] і будівельних конструкціях [23]. Виникає комплексний показник - надійність, який залежно від призначення об'єкта та умов його експлуатації може містити: працездатність, безвідмовність, довговічність, ремонтпридатність, збереженість або їх поєднання.

Знос огорожувальних конструкцій за визначенням [24] проходить через чотири стадії: малий знос, пошкодження, руйнування і повний знос.

Характер процесу зносу та його відновлення схематично показано на



рисунку 1.1 [24].

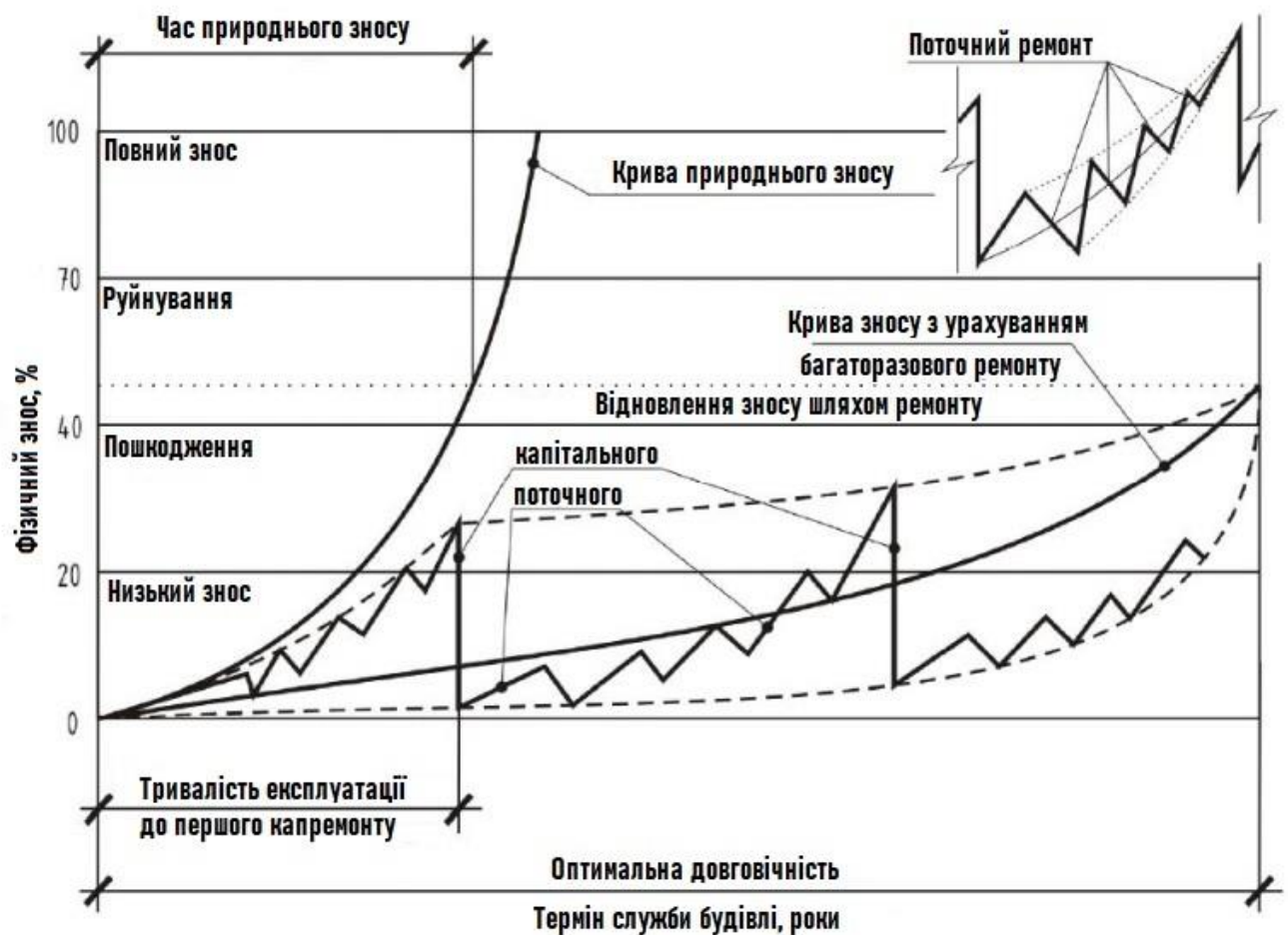


Рисунок 1.1 - Схема характеру процесу зносу та його відновлення

Для досягнення високих показників за параметрами експлуатаційної надійності та довговічності будівлі необхідно не тільки застосовувати якісні матеріали, а й враховувати особливості їхньої спільної роботи. Для цього необхідно провести аналіз роботи кожного конструктивного елемента тришарової стіни та визначити вимоги, що пред'являються до них. Для більш точного аналізу стіни як багатошарової огорожувальної конструкції необхідно врахувати фізичні процеси, що відбуваються в кожному шарі, а також процеси, що перетікають між шарами.

## 1.1 Вимоги нормативної документації до критерію теплозахисту стін

Вимога енергетичної ефективності будівель і споруд є однією з основних вимог під час проектування. Будинки і споруди повинні бути спроектовані і побудовані таким чином, щоб у процесі їх експлуатації забезпечувалося ефективне використання енергетичних ресурсів і виключалася нераціональна витрата таких ресурсів [2].

Вимога щодо теплозахисту огорожувальних конструкцій є основоположною для забезпечення енергетичної ефективності будівлі та споруди. Також цей параметр впливає на мікроклімат приміщень, що, своєю чергою, теж нормується і має відповідні вимоги під час проектування.

У проектній документації будівлі або споруди має бути визначено значення характеристик огорожувальних конструкцій і прийнято конструктивні рішення, які забезпечують відповідність розрахункових значень таких теплотехнічних характеристик необхідним значенням, установленим виходячи з необхідності створення сприятливих санітарно-гігієнічних умов у приміщеннях [2].

Енергетична ефективність будівлі повинна задовольняти вимогам протягом усього терміну експлуатації.

Відомо, що із застосуванням ефективних теплоізоляційних конструкцій знижуються витрати на опалення будівель, але розрахунки з енергоефективності будівель не враховують витрати на капітальний ремонт зовнішньої огорожі в процесі експлуатації. У роботі [2] зазначається, що "за довговічності матеріалів і конструкцій менше 50 років витрати на ремонт багат шарових стінових конструкцій перевищують очікувану економію коштів від зниження витрат на опалення під час експлуатації. І, з цього погляду, терміну служби зовнішньої огорожі і довговічності матеріалів, що його складають, слід приділяти не менше уваги, ніж просто забезпеченню його теплозахисту [3].

Таблиця 1.1 - Прогнозована довговічність зовнішніх стін будівлі

№ п/п	Характеристика будівель, зовнішніх стін и інших конструктивних елементів	Прогнозована довговічність, роки
1	Монолітні та збірно-монолітні (заввишки до 30 поверхів), зовнішні стіни з металевим каркасом і порожнистим великоформатним камінням з пористої кераміки, полістирольними, ніздрюватобетонними автоклавними блоками, вогнестійкими пінополіуретановими плитами підвищеної щільності з наповнювачами, мінераловатними плитами з базальтового волокна підвищеної жорсткості, облицьовані керамічною цеглою або великорозмірними плитами з природного і штучного каменю	150
2	Монолітні та каркасні залізобетонні (висотою до 12 поверхів), зовнішні стіни с несучими монолітними залізобетонними міжвіконними простінками або ненесучими з цегли та каменю, утеплені жорсткими мінераловатними, пінополіуретановими плитами, закріпленими дюбелями до несучої частини зовнішньої стіни, оштукатуреними по капроновій або металевій сітці	150
3	Дрібноблокові (заввишки до 5 поверхів), зовнішні стіни самонесучі та ненесучі з дрібних ніздрювато- бетонних блоків, легкобетонних каменів, полістиролбетонних блоків, облицьованих цеглою	100
4	Каркасні з легких зовнішніх металевих панелей (заввишки до 12 поверхів), зовнішні стіни не несучі з навісних панелей з металевими облицюваннями з мінераловатними, пінополіуретановими утеплювачами (типу "сендвіч")	70

У тому ж нормативному документі наведено таблицю тривалості ефективної експлуатації різних конструкцій зовнішніх стін до першого капітального ремонту. Вибірку з повної таблиці нормативного документа наведено в табл.1.2.

Таблиця 1.2 - Тривалість експлуатації зовнішніх стін до першого капітального ремонту [4].

№ п/п	Характеристика зовнішніх стін	Тривалість експлуатації до першого капітального ремонту, роки
11	Каркасні з металу зі стінами з порожнистих великоформатних каменів із пористої кераміки з морозостійкістю F35-F50, облицьовані керамічною цеглою або великорозмірними плитами з природного і штучного каменю з морозостійкістю не менше F50.	80
22	Каркасні з металу зі стінами з пустотілої керамічної цегли, каменів з морозостійкістю F35-F50, утеплені полістиролбетонними, ніздрюватобетонними автоклавними блоками, мінераловатними, базальтовими плитами підвищеної жорсткості, облицьовані керамічною цеглою або великорозмірними плитами з природного і штучного каменю з морозостійкістю не більше менше F50.	60
33	Монолітні залізобетонні, цегляні (F35), утеплені жорсткими мінераловатними плитами на дюбелях, облицьовані керамічним цеглою з морозостійкістю не менше F35.	35

Продовження таблиці 1.2

44	Монолітні залізобетонні, цегляні (F35) з безпресовими пінополістирольними плитами на безпресових дюбелях, з протипожежними розсічками з мінераловатних плит, оштукатурені по металевій або капроновій сітці.	25
55	З тришарових залізобетонних панелей, утеплених пінополістирольними екструдованими плитами	45
66	З тришарових залізобетонних панелей, утеплених з безпресовими пінополістирольними плитами	35
77	З тришарових залізобетонних панелей, утеплених пінополіуретановими плитами.	60

Від початку використання тришарових теплоефективних зовнішніх стін проводилися численні дослідження з його використанням. Тематики досліджень були різними [5-14]. Ці роботи доводять, що науковий супровід не встигав за стрімкими темпами використання теплоізоляційних виробів, і стали виявлятися деякі недоліки багатошарових огороджувальних конструкцій.

### **1.2 Доцільний термін служби зовнішніх стін будівлі**

Багатошарові стіни складаються з несучого шару, утеплювача та огороджувального шару. Для визначення доцільного терміну служби необхідно визначити максимальну довговічність кожного з шарів.

У процесі експлуатації будівлі піддаються фізичному зносу. Термін їхньої служби можна продовжити за допомогою періодичних ремонтів. Однак після деякої кількості поточних і капітальних ремонтів подальше підтримання життєздатності будівлі може бути економічно недоцільним.

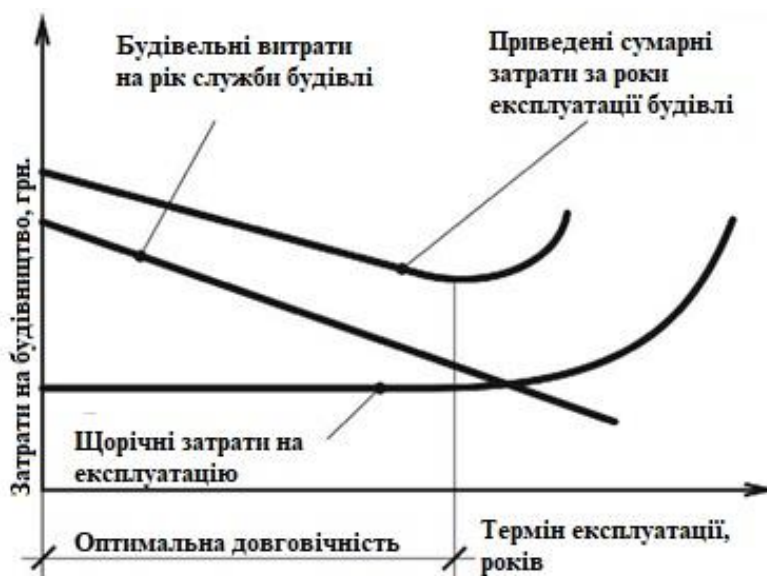


Рисунок 1.2 - До визначення оптимальної довговічності будівлі

Оптимальна довговічність будівель, тобто їхніх матеріалів, має задовольняти нормативні документи, як ішлося раніше, і поєднуватися з капітальністю. У роботі [19] на основі економічного аналізу показано, що "зайва капітальність житлових будівель, навіть без урахування фактора морального зносу, пов'язана з безповоротними втратами внаслідок невиробничого використання капітальних вкладень. Термін служби всіх житлових будинків, які зводяться з несучими конструкціями з бетону, природного каменю, випалювальних і пропарюваних матеріалів, може бути прийнято єдиним, рівним 100 років. Довговічність огорожувальних конструкцій має дорівнювати довговічності несучих. Якщо використовувані матеріали для огорожувальних конструкцій мають довговічність нижчу, ніж у несучих, то проектна документація повинна містити технічні рішення щодо заміни таких конструкцій.

Таким чином оптимальна довговічність будівель за фізичним зносом становить 100 років.

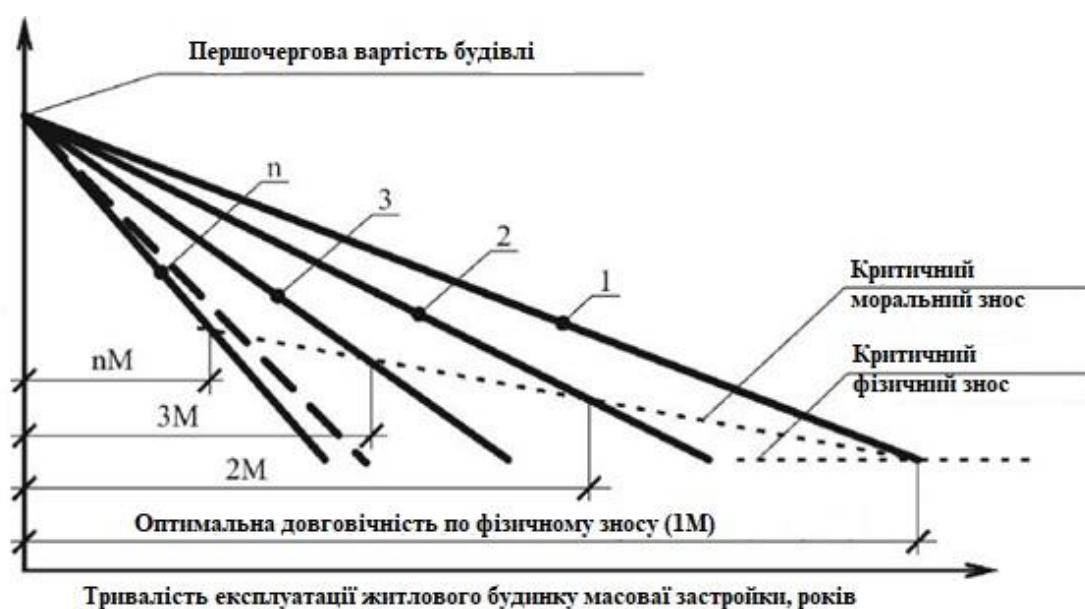
Також моральний знос будівлі в комплексі з моральним зносом забудови диктують обмеження щодо рівня капітальності будівель, їхнього ремонту та реконструкції, зважаючи на терміни служби будівель, що залишилися.

Наведемо узагальнюючий ретроспективний аналіз розвитку житлових будівель масової забудови за останні 100 років та їх морального старіння [5-7]:

- одно-двоповерхові бараки, побудовані в період індустріалізації країни, через 40 років було знесено через їхню невідповідність соціально- економічним вимогам;
- двох-п'ятиповерхові цегляні будівлі з дерев'яним перекриттям, зведені в 30-50-х роках, через 40-50 років визнали морально застарілими і піддалися знесенню;
- великопанельні п'ятиповерхові будівлі споруди 50-60-х років перестали відповідати соціальним вимогам уже до початку 90-х років. З'явилися регіональні програми з реконструкції типових панельних серій. В економічно розвинених районах такі будівлі піддалися знесенню.

Таким чином моральний знос будівель масової забудови настає через 40-60 років їх експлуатації, хоча фізичний стан матеріалів конструкцій залишається працездатним.

Вивчення питання оптимальної довговічності показало, що рішення про продовження експлуатації залежить від соціально-економічного розвитку регіону. У регіонах з інтенсивним соціально-економічним розвитком моральне старіння будівель настає раніше, ніж в інших регіонах.



1M - оптимальна довговічність за фізичним зносом; 2M, 3M ... nM - оптимальна довговічність за фактором морального зносу.

Рисунок 1.3 - Спільний фізичний і моральний знос

Довговічність несучих систем будівель, як і несучого шару огорожувальних конструкцій, що виконуються зі штучних кам'яних виробів, може становити, як говорилося раніше, 300-500 років. Теплоізоляційні та огорожувальні шари, як правило, виконуються з органічних або комбінованих матеріалів і термін їхньої служби становить 20-200 років. Виходячи з цього можна зробити висновок, що довговічність несучих і огорожувальних конструкцій не може бути однаковою, як того вимагають нормативні документи.

Як говорилося раніше, під довговічністю огорожувальних (стінових) конструкцій слід розуміти довговічність теплоізоляційного облицювального шару. Тоді термін служби буде визначатися тривалістю експлуатації без втрати теплозахисних властивостей. Виходячи з цього, доцільніше довговічність огорожувальних конструкцій прирівнювати до морального зносу, а не до фізичного [5,7].

Таким чином, оптимальна довговічність багат шарових стін визначатиметься періодом експлуатаційної надійності теплоізоляційного шару і має становити 40-60 років [5,7].

### **1.3 Обґрунтування терміну служби зовнішніх стін за критерієм втрати необхідного теплозахисту**

З огляду на умови підвищеної уваги до енергозбереження, зокрема і під час проектування зовнішніх стін, основним критерієм визначення строків служби таких конструкцій можна вважати збереження потрібного рівня теплозахисту будівель упродовж усього терміну експлуатації.

Огорожувальні конструкції в переважній більшості випадків проектуються з деяким запасом за теплозахистом, пов'язаним з обмеженим типорозмірним рядом теплоізоляційних виробів за товщиною та округленням у більший бік під час обчислення товщини шару теплоізоляції. Тобто поки зберігається умова  $R_{TO} \geq R_{T}^{m,p}$  конструкція відповідатиме сучасним вимогам теплозахисту. У зв'язку з цим термін служби огорожувальної конструкції за критерієм теплозахисту має визначатися



часом зниження загального опору теплопередачі огороження  $R_{TO}$  від початку експлуатації до моменту досягнення величини необхідного опору теплопередачі  $R_{T^m_o^p}$ . Величина  $R_{T^m_o^p}$  для заданого місця будівництва визначається за нормативним документом - ДБН В.2.6-31:2021 "Теплова ізоляція та енергоефективність будівель".

Облицювальні шари зовнішніх стін піддаються ремонту і відновленню в процесі експлуатації будівлі, а конструктивні шари практично не змінюють теплозахисних властивостей. У зв'язку з цим зниження теплозахисних властивостей огорожувальних конструкцій відбувається значною мірою внаслідок старіння і підвищення коефіцієнтів теплопровідності  $\lambda$  теплоізоляційних шарів.

Таким чином, термін служби огорожувальної конструкції за критерієм втрати необхідного теплозахисту визначиться періодом, упродовж якого збільшується коефіцієнт теплопровідності теплоізоляційного шару до значення, що відповідає критичному значенню загального опору теплопередачі, або відношенням критичного приросту коефіцієнта теплопровідності  $\Delta\lambda_{кр}$  до щорічного приросту цього коефіцієнта  $\Delta\lambda_{год}$  у процесі експлуатації.

Проаналізуємо чинники, які можуть вплинути на зменшення теплозахисту теплоізоляційних матеріалів.

#### **1.4 Стінові багат шарові конструкції**

Сучасні стіни являють собою багат шарові конструкції, що складаються з матеріалів різної довговічності.

Усе різноманіття застосовуваних у масовому будівництві конструктивних рішень багат шарових стін зводиться до кількох основних типів:

- 1) Багат шарові стіни, шар утеплювача яких розташовується всередині приміщень будівлі;
- 2) Багат шарові стіни, шар утеплювача яких розташовується всередині конструкції;
- 3) Багат шарові стіни, шар утеплювача яких розташовується

зовні конструкції.

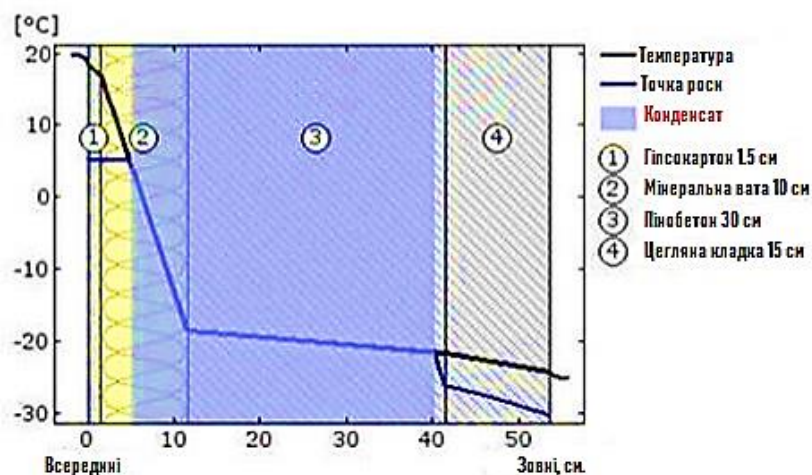


Рисунок 1.4 - Конструкція з утепленням зсередини

Багатошарові стіни першої групи мають таку конструкцію:

- 1) 1 шар - оздоблення приміщень (штукатурний шар, ГВЛ тощо);
- 2) 2 шар - утеплювач;
- 3) 3 шар - несучий.

Конструкція з утепленням зсередини застосовується здебільшого для утеплення будівель, що становлять історичну та культурну цінність, не порушуючи наявного цінного фасаду будівлі [5]. Аналіз вологості таких конструкцій показує 100% вологість усередині конструкції [6,4]. Тому застосування конструкцій з утепленням зсередини не довговічні і незастосовуються в новому будівництві.

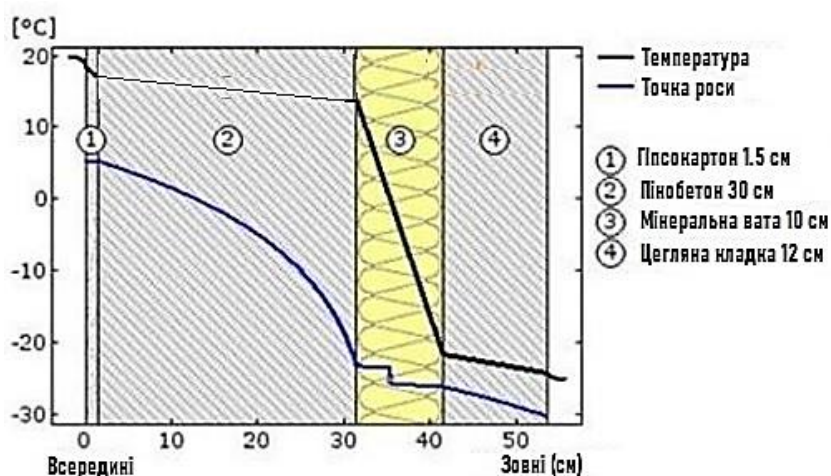


Рисунок 1.5 - Конструкція з утепленням зовні (3-х шарова стіна)

Багатошарові стіни другої групи мають таку конструкцію:

- 1) шар - несучий;
- 2) шар - утеплювач;
- 3) шар - огорожувальний шар (усі види конструкції, крім вентиляованого фасаду і штукатурного шару).

До цього виду конструкції також належать тришарові панелі.

Тришарові стіни з утеплювачем між несучим і облицювальним є поширеною конструктивною схемою теплоефективних стін. Недоліком застосування цієї конструкції в умовах різко континентального клімату є відсутність можливості видалення вологи з шару утеплювача [6,7,2]. Накопичена вода і лід заміняють повітря в матеріалі. Теплопровідність водив 23 рази вища за теплопровідність повітря, а льоду в 97 разів. З цього випливає висновок, що накопичення вологи і льоду призводить до зменшення опору теплопередачі.

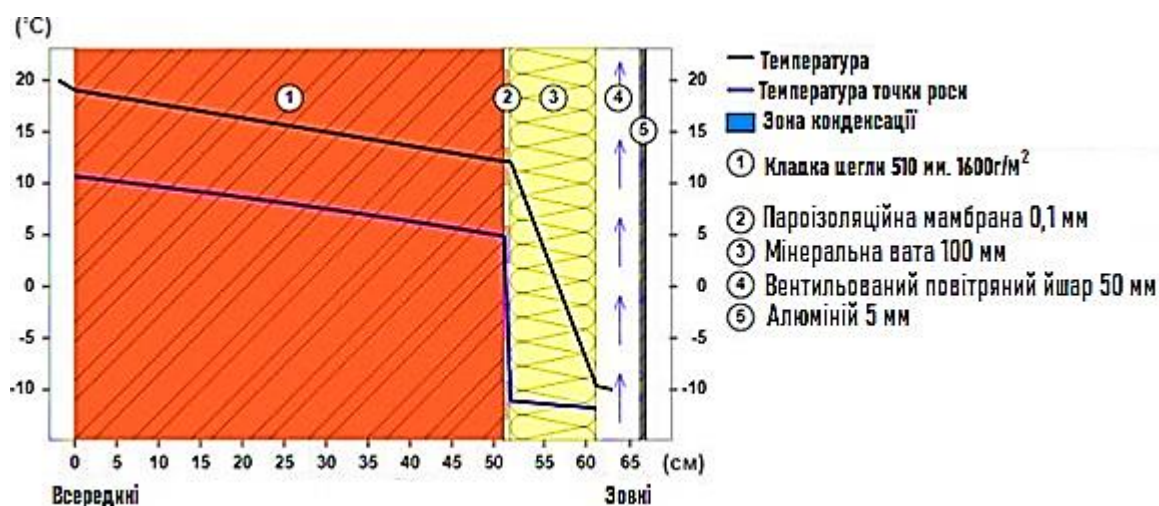


Рисунок 1.6 – Конструкція з утепленням багатошарової стіни

Конструкція з утепленням всередині багатошарові стіни другої групи мають таку конструкцію:

- 1) шар - несучий;
- 2) шар - утеплювач;
- 3) шар - огорожувальний шар (вентильований фасад, оштукатурений)

Цей вид конструкції має велику кількість переваг порівняно з попередніми конструктивними схемами [3-5]. Волога, що утворюється в шарі теплоізоляції, видаляється з неї за допомогою вентзасору протягом усього терміну експлуатації. Так само ця конструкція дає змогу досить легко проводити поточний і капітальний ремонт.

Енергоефективність і теплозахист будівель є одним з основних аспектів безпеки будівель і споруд [2]. У результаті численних проведених досліджень [6] стало очевидно, що під час проєктування енергоефективного будинку насамперед варто потурбуватися про запобігання втрат тепла через огорожувальні конструкції, а вже потім про оптимізацію робіт інженерних систем будівлі, про зниження витрат на освітлення та впровадження альтернативних джерел енергозабезпечення м<sup>2</sup>.

Теплоізоляційні матеріали, чиєю головною характеристикою є теплопровідність, відіграють вирішальну роль у забезпеченні оптимальних умов мікроклімату приміщень.

Питання, пов'язані з порівнянням теплоізоляційних матеріалів і принципом їх вибору, мають опис у статтях [12-16]. Аналіз публікацій за темою дослідження дає змогу зробити висновок про наявні труднощі вибору оптимального матеріалу для споживача [17-19].

Розглянемо основні групи теплоізоляційних матеріалів, їхні основні властивості та характеристики, що виділяють їх серед інших матеріалів. Для порівняльного аналізу використовували дані з джерел [14, 15].

Пінополістирол - це пінопласт, що складається приблизно на 98% з повітря і 2% з полістиролу, перероблений з нафти. Процес відбувається в кілька етапів. Додаються різні модифікатори. Цей утеплювач має такі властивості:

- коефіцієнт теплопровідності - 0,037...0,042 Вт/мК;
- екологічність – ні;
- гігроскопічність – низька;
- звуко- і теплоізоляція – висока;
- біостійкість – висока;

- довговічність - 10 років;
- стійкість до корозії – так.

Мінеральна вата - це унікальний теплоізоляційний матеріал, оскільки виробляється з різної сировини. Перший варіант - у виробництві матеріалу використовують шлаки різних металів, а другий спосіб - добавка до складу гірських порід, таких як базальт, діабаз або вапняк, у суміші з фенолом. У результаті ми отримуємо теплоізоляційний матеріал із низькими показниками гігроскопічності.

Цей утеплювач має такі властивості:

- коефіцієнт теплопровідності - 0,045...0,055 Вт/мК;
- екологічність – так;
- гігроскопічність – низька;
- звуко- і теплоізоляція – висока;
- біостійкість – висока;
- довговічність - 20 років;
- стійкість до корозії – так.

Скловата - це теплоізоляційний матеріал, у виробництві якого використовують частинки скла (скляний пил). Порівняно з мінеральною ватою, скловата має підвищену пружність і міцність, завдяки збільшеним розмірам волокон. Цей утеплювач має такі властивості:

- коефіцієнт теплопровідності - 0,03...0,052 Вт/мК;
- екологічність – так;
- гігроскопічність – хороша;
- звуко- і теплоізоляція – висока;
- біостійкість – низька;
- довговічність - 7 років;
- стійкість до корозії – Так.

Сендвіч-панелі з пінополіуретаном - це теплоізоляційний матеріал, який має багат шарову структуру. Результатом виробництва слугує утеплювач, у нашому випадку - це пінополіуретан, який з двох боків обволікає жорсткий, міцний матеріал, наприклад, залізний оцинкований лист. Такий матеріал має довгий термін

служби - 50 років і більше, має відносно невелику вагу і відмінні теплотехнічні характеристики. Крім того, сендвіч-панелі дають змогу скоротити терміни зведення споруд. Цей утеплювач має такі властивості:

- коефіцієнт теплопровідності - 0,022 Вт/мК;
- екологічність – так;
- гігроскопічність – низька;
- звуко- і теплоізоляція – висока;
- біостійкість – висока;
- довговічність - 50 років;
- стійкість до корозії – так.

Для наочності аналізу порівняння в таблиці 1.3 наведено розглянуті теплоізоляційні матеріали та їхні основні характеристики.

Таблиця 1.3. Порівняння характеристик

Властивості	Теплоізоляційні матеріали			
	Пінополістирол	Мінеральна вата	Скловата	Пінополіуретан
Коефіцієнт теплопровідності	0,037...0,042	0,045...0,055	0,03...0,052	0,022
Пожежонебезпека	B4	Д	B1-B4	B2-B4
Екологічність	Ні	Так	Так	Ні
Гігроскопічність	Низька	Низька	Хороша	Низька
Звуко- і теплоізоляція	Висока	Висока	Висока	Висока
Біостійкість	Висока	Висока	Низька	Висока
Довговічність	10	20	7 років	50 років
Стійкість до корозії	Так	Так	Так	Так

### 1.5 Фактори, що впливають на довговічність багат шарових стін

На основі аналізу теплоізоляційних матеріалів було виявлено, що найпоширенішими матеріалами є: мінеральна вата і матеріали на основі пінополістиролу. Ці матеріали порівняно з несучим шаром огорожі мають не

великий термін експлуатаційної надійності. Але під дією кліматичних факторів і внутрішніх процесів довговічність цих матеріалів може бути знижена.

Існує сім основних причин, що спричиняють розшарування матеріалів багат шарових стін будівлі:

- чергування заморожування і відтавання;
- чергування зволоження і висушування;
- тривалий вплив знижених температур;
- сонячна радіація;
- вітрове навантаження;
- карбонізація атмосферної вуглекислоти.

Кліматичні чинники, як-от атмосферні опади, перепади температур, зміна вологості повітря, швидкість вітру призводять до утворення і накопичення вологи в товщі утеплювача [2]. Для матеріалів, що тяжіють до накопичення вологи, ці фактори мають згубний вплив, зважаючи на подальше заморожування-відтавання води.

Мінеральна вата має волокнисту структуру і високу повітряну проникність. Тому для такого виду матеріалу найнебезпечнішим фактором в умовах різко-континентального клімату є заморожування і відтавання вологої мінеральної вати. За великої вологості вода під час заморожування розширюється, утворюючи лід. Це руйнує волокна й утворюються зазори, які зменшують теплозахисні властивості мінеральної вати. При великих пошкодженнях під час відтавання мінвата може осісти під власною вагою, що утворює містки холоду.

Волога може накопичуватися в теплоізоляційному шарі як із зовнішнього, так і з внутрішнього боку стіни.

Зволоження із зовнішнього боку. Фасадне облицювання вентфасаду, що складається з окремих елементів, має зазори, через які дощ і сильний вітер проникають всередину системи і зволожують утеплювач. Від проникнення вологи повністю не захищає навіть суцільне облицювання, оскільки завжди існує ймовірність дефектів монтажу, механічних пошкоджень, кількість яких зростає зі збільшенням площі облицювання, кількості віконних обрамлень і різних врізок.

Зволоження з внутрішньої сторони. У холодну пору року утеплювач схильний до накопичення вологи з теплого боку. Якщо несучі огорожі мають підвищену паропроникність, пароподібна волога з житлового приміщення конденсується в холодних областях утеплювача.

На відміну від мінеральної вати утеплювачі на основі полістиролу мають закриту пористість і менш схильні до впливу фактора заморожування і відтавання. Але з часом волога у вигляді пари потрапляє в пори і накопичується в пінополістиролі. Це призводить до руйнування утеплювача під час заморожування.

Більш значущий вплив має температурний фактор [3]. В умовах різко-континентального клімату відбувається великий перепад температур. Утеплювачі на основі пінополістиролу мають високий коефіцієнт лінійного розширення. У холодний період утеплювач зменшується в розмірах, що призводить до руйнування облицювального шару при мокрому фасаді. У теплий же період, навпаки, розмір утеплювача збільшується, панелі тиснуть одна на одну і руйнують торці, що призводить до утворення теплопровідних включень.

Оскільки утеплювач зазвичай закритий від сонця облицювальним шаром, безпосередньо самі сонячні промені впливають на нього незначно. Однак вони нагрівають поверхню облицювання, що призводить до теплового впливу. Сонячний вплив завдає великої шкоди утеплювачу під час будівництва. Складування просто неба, несвоєчасне встановлення фасадного шару призводить до руйнування утеплювачів.

Так само на довговічність теплоізоляційних матеріалів впливає технологія виконання робіт з монтажу.

Технологія теплоізоляції полягає в пошаровому кріпленні шарів стіни безпосередньо один до одного. Утеплювач закріплюють у два шари так, щоб другий шар перекривав стики першого. Закріплення здійснюють за допомогою тарілчастих дюбель-цвяхів і спеціального клею, які встановлюють із розрахунковим кроком.

Після кріплення утеплювального шару наносять базовий шар. На даному етапі роботи використовується армована анти-кислотно-лужна сітка і сухий клей. Армувальний шар із сітки закріплюється на поверхні утеплювача, шляхом



вдавлення її у свіжо-нанесений клейовий склад. На кути будівлі потрібно встановити спеціальні армовані куточки.

У разі дотримання технології цей метод зарекомендував себе досить надійним, але часто технологію порушують, і це призводить до прискореного стирання матеріалів.



Рисунок 1.7 - Приклад порушення технології кріплення шару утеплювача до несучого шару стіни цоколя в будівлі

На рисунку 1.7 представлений найпоширеніший дефект утеплення стіни цоколя. Недостатня надійність кріплення призвела до утворення зазору. У цьому разі дефект не становить загрози, оскільки утеплювач йде в землю й утворює замкнутий простір - зазор не живиться повітрям з вулиці. Але цей дефект може проявитися під час утеплення стін, і зазор уже вважатимуть вентиляваним,

що призведе до виключення з роботи шару утеплювача.

Цей дефект може проявитися в разі неправильного кріплення тарілчастих дюбель-цвяхів.

Послідовність і технології монтажу вентфасадів описуються в [4,7] У конструкції вентфасадів приймають одношарову і двошарову систему кріплення утеплювача.

За одношарової системи штучний матеріал утеплювача має товщину, прийняту за проектом. За двошарової системи товщина розбивається на дві частини й утеплювач укладається у два шари зі зміщенням так, щоб стики першого шару перекривалися другим шаром.

Так само у двошарових системах застосовують утеплювачі різної щільності. Менш щільний укладається першим шаром, оскільки він щільніше прилягає до несучої конструкції і заповнює всі нерівності. Більш щільний сприймає вітрові навантаження.

Монтаж плит здійснюють відразу після встановлення кронштейнів. Щоправда, в деяких підсистемах передбачаються горизонтально розташовані елементи, які допомагають утримувати утеплювач. Мінеральну вату кріплять до основи якісними тарілчастими дюбелями, які повинні не менше ніж на 50 мм заходити в стіну. На один квадратний метр утеплювача має припадати близько 5 - 8 дюбелів, але не менше 4 на одну плиту.

У міру встановлення плит їх необхідно відразу закривати мембраною.

Залежно від рекомендацій виробника смуги мембрани повинні мати певні напуски близько 10-15 мм, які проклеюють сполучною стрічкою.

Після монтажу проводиться контроль якості [3]. Параметри, що перевіряються, впливають як на механічну, так і на теплоізоляційну безпеку.

Отже, виділимо основні моменти порушення технології монтажу вентильованих фасадів, які вплинуть на теплоізоляційні характеристики в процесі експлуатації:

- використання одного шару утеплювача;
- недостатня глибина анкерування дюбеля;

- великий діаметр отвору під дюбель;
- неякісно відчищено поверхню, на яку монтують утеплювач;
- шви пароізоляційної плівки непрокесені;
- у процесі монтажу утеплювач був зволожений.

## **1.6 Методи прогнозування довговічності багат шарових стін будівель**

Методики, описані в нормативній документації, застосовні тільки до окремо взятих матеріалів. Оскільки довговічність шару утеплювача в конструкції багат шарової стіни найменша, будуть розглянуті методики, застосовні тільки до цього виду матеріалу.

У нормативній документації існує два способи визначення довговічності теплоізоляційних матеріалів:

- 1) за несучою здатністю;
- 2) за теплозахистом.

Ці методики об'єднує принцип проведення випробувань.

Зразки проходять через цикли поперемінного заморожування-відтавання. Після відтавання і висушування проводять випробування на міцність або визначають теплотехнічні характеристики матеріалів.

Перераховані раніше руйнівні чинники, як-от чергування заморожування і відтавання, чергування зволоження і висушування, тривалий вплив знижених температур імітуються в кліматичній камері, що дає змогу визначити довговічність матеріалу під час впливу цих чинників.

Фактори вивітрювання призводять до руйнування облицювального шару [24], що призводить до накопичення вологи в утеплювачі, впливу на нього високих і низьких температур.

Для визначення довговічності всієї конструкції багат шарової стіни розроблено тільки одну методику [8]. Однак цей метод враховує вплив тільки сонячної радіації на матеріал.

## 1.7 Висновки до першого розділу

Довговічність теплоефективних стін за втратою теплозахисту визначається часом у роках, протягом якого стіна задовольняє вимогам теплозахисту.

З огляду на те, що теплоефективні стіни є багатошаровими конструкціями, які складаються з несучого шару, шару теплоізоляції та облицювального шару, загальна довговічність стіни за критерієм втрати теплозахисту залежатиме від матеріалу з найнижчим терміном служби.

Проаналізувавши нормативну документацію та наукові джерела, було виявлено, що найнижчий термін експлуатації має шар теплоізоляції.

На шар теплоізоляції під час експлуатації впливають кліматичні чинники. Залежно від виду матеріалу ті чи інші чинники чинять на матеріал більший вплив. На мінераловатні утеплювачі більший впливають тривалі знижені температури, накопичення вологи і поперемінне заморожування-відтавання. На полістиролові - тривалі високі температури і сонячна радіація.

На аналізі ринку матеріалів було виявлено, що найпоширенішими матеріалами для теплоізоляції слугують: мінеральна вата, скловата і матеріали на основі полістиролу.

Фактори, які призводять до руйнування багатошарових стін напряму або опосередковано, призводять до накопичення вологи в шарі утеплювача і впливу прямих сонячних променів на шар утеплювача. Тому оптимальною методикою для визначення довговічності неорганічних утеплювачів будуть випробування на морозостійкість. Для органічних утеплювачів - методика, описана в джерелі [5] щодо впливу високих температур і сонячної радіації.

## РОЗДІЛ 2

### РОЗРАХУНОК ДОВГОВІЧНОСТІ БАГАТОШАРОВИХ СТІН

#### 2.1 Теплотехнічний розрахунок багатошарових конструкцій стін

Перш ніж проводити розрахунок довговічності багатошарових стін, необхідно визначити параметри розглянутих конструкцій багатошарових стін. Для цього необхідно провести теплотехнічний розрахунок.

Вихідні дані для теплотехнічного розрахунку були взяті з [20].

Розрахункова температура внутрішнього повітря в приміщенні в холодний період року:  $t_{int} = +18^\circ\text{C}$ . Розрахункова зимова температура зовнішнього повітря дорівнює середній температурі найхолоднішої п'ятиденки забезпеченістю 0.92,  $t_{ext} = -25^\circ\text{C}$ . Середня температура зовнішнього повітря і тривалість опалювального періоду із середньою добовою температурою повітря, нижчою або рівною  $8^\circ\text{C}$ :  $z_{ht} = 183$  доби. Середня температура опалювального періоду:  $t_{ht} = -7,9^\circ\text{C}$ .

Градусо-доби опалювального періоду  $D_d$  за [20]:

$$D_d = (t_b - t_{оп}) z_{оп} = (18 + 7,7) * 183 = 5731,1^\circ\text{C-добу}.$$

Відповідно до [20], наведений опір теплопередачі зовнішніх огорожень,  $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$ , має прийматися не нижче нормованих значень  $R_{req}$ , які встановлюють залежно від градусо- доби опалювального періоду. Для  $D_d = 5776 \text{ }^\circ\text{C-добу}$  нормований опір теплопередачі дорівнює для стін  $R = a \cdot D_d^{red} + b = 0,0003 \cdot 5731,1 + 1,2 = 2,92 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$ ,

Конструктивні схеми багатошарових стін:

- 1) Цегляна стіна з утепленням із мінеральної вати за системою мокрий фасад;
- 2) Цегляна стіна з утепленням із пінополістиролу за системою мокрий фасад;
- 3) Цегляна стіна з утепленням з мінеральної вати з облицювальним шаром із цегли;
- 4) Цегляна стіна з утепленням з пінополістиролу з облицювальним шаром із цегли;

- 5) Цегляна стіна з утепленням із мінеральної вати за системою вентфасаду;
- 6) Цегляна стіна з утепленням із пінополістиролу за системою вентфасаду;
- 7) Сендвіч панель з мінераловатним утеплювачем з облицюванням за системою вентфасад;
- 8) Сендвіч панель з пінополістирольним утеплювачем з облицюванням за системою вентфасад.

Теплотехнічний розрахунок цегляної стіни з утепленням із мінеральної вати за системою мокрий фасад:

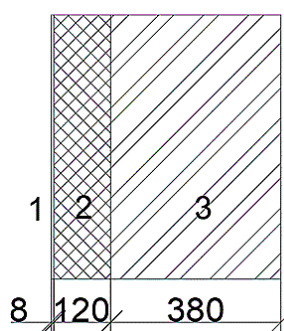


Рисунок 2.1 - Цегляна стіна з утепленням із мінеральної вати за системою мокрий фасад

Таблиця 2.1 - Характеристики цегляної стіни із утепленням з мінеральної вати за системою мокрий фасад

Найменування	Товщина, м	Теплопр. $\lambda$ , Вт/(м·К)	Теплозас. S, Вт/(м <sup>2</sup> ·°С)
Штукатурка	0,008	0,26	8,48
Мінеральна вата	0,12	0,039	0,32
Цегла	0,38	0,87	10,9

Опір теплопередачі  $R_0$ , м<sup>2</sup> °С/Вт, огорожувальної конструкції з послідовно розташованими однорідними шарами:

$$R_0 = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se} = 0,115 + 0,008/0,26 + 0,12/0,039 + 0,38/0,87 + 0,04 = 4,6 \text{ м}^2 \text{ °С/Вт}$$

де  $R_1, R_2, \dots, R_n$  - термічні опори окремих шарів ( $R = \delta/\lambda$ ),

$R_{si} = 1/\alpha_{в} = 0,115$ ,  $\alpha_{в} = 8,7$  Вт/(м<sup>2</sup>°С) - коефіцієнт тепловіддачі внутрішньої поверхні огорожувальних конструкцій [20].

$R_{se} = 1/\alpha_{з} = 0,043$ ,  $\alpha_{з} = 23$  Вт/(м<sup>2</sup> °С) - коефіцієнт тепловіддачі зовнішньої поверхні огорожувальної конструкції для умов холодного періоду [20].

Коефіцієнт теплотехнічної однорідності стін із цегли  $r = 0,9$ .

Тоді приведений опір теплопередачі цегляних стін будівлі дорівнює:

$$R_{f_0} = r R_0 = 0,9 \cdot 4,6 = 4,14 \text{ м}^2 \text{ °С/Вт}$$

Теплотехнічний розрахунок цегляної стіни з утепленням з пінополістиролу за системою мокрий фасад

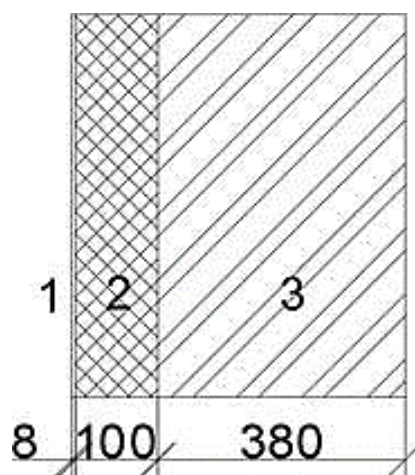


Рисунок 2.2 - Цегляна стіна з утепленням із пінополістиролу за системою мокрий фасад

Таблиця 2.2 - Характеристики цегляної стіни з утепленням із пінополістиролу за системою мокрий фасад

Найменування	Товщина, м	Теплопр. $\lambda$ , Вт/(м·К)	Теплозасв. S, Вт/(м <sup>2</sup> ·°С)
Штукатурний шар	0,008	0,26	8,48
Пінополістирол	0,1	0,033	0,32
Цегла	0,38	0,87	10,9

Опір теплопередачі, м<sup>2</sup>·°С/Вт, огорожувальної конструкції з послідовно розташованими однорідними шарами:

$$R_0 = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se} = 0,115 + 0,008/0,26 + 0,1/0,033 + 0,38/0,87 + 0,043 = 4,7 \text{ м}^2\text{°С/Вт},$$

де  $R_1, R_2, \dots, R_n$  - термічні опори окремих шарів ( $R = \delta/\lambda$ ),

$R_{si} = 1/\alpha_v = 0,115$ ,  $\alpha_v = 8,7 \text{ Вт/(м}^2\text{°С)}$  - коефіцієнт тепловіддачі внутрішньої поверхні огорожувальних конструкцій [20].

$R_{se} = 1/\alpha_z = 0,043$ ,  $\alpha_z = 23 \text{ Вт/(м}^2\text{°С)}$  - коефіцієнт тепловіддачі зовнішньої поверхні огорожувальної конструкції для умов холодного періоду [20].

Коефіцієнт теплотехнічної однорідності стін із цегли  $r = 0,9$ .

Тоді приведений опір теплопередачі цегляних стін будівлі дорівнює:

$$R^r_{0=r} R_0 = 0,9 \cdot 4,7 = 4,33 \text{ м}^2\text{°С/Вт}$$

Теплотехнічний розрахунок цегляної стіни з утеплювачем із мінеральної вати з облицювальним шаром із цегли.

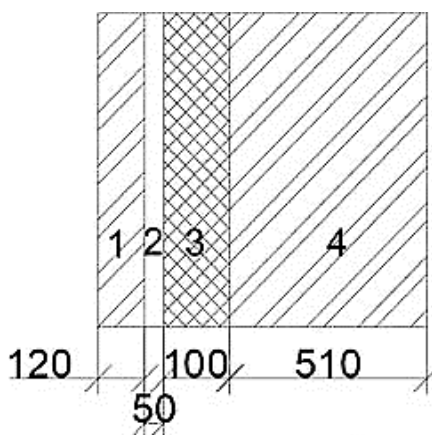


Рисунок 2.3 - Цегляна стіна з утепленням із мінеральної вати з облицювальним шаром із цегли

Таблиця 2.3 - Характеристики цегляної стіни с утепленням з мінеральної вати з облицювальним шаром із цегли

Найменування	Товщина, м	Теплопр. $\lambda$ , Вт/(м·К)	Теплозасв. $S$ , Вт/(м <sup>2</sup> ·°С)
Цегла	0,12	0,87	10,9
Повітряний зазор	0,05	0,17	-
Мінеральна вата	0,1	0,039	0,32
Цегла	0,51	0,87	10,9



Опір теплопередачі, м<sup>2</sup>·°C/Вт, огорожувальної конструкції з послідовно розташованими однорідними шарами:

$$R_0 = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se} = 0,115 + 0,008/0,26 + 0,1/0,033 + 0,38/0,87 + 0,043 = 4,7 \text{ м}^2 \text{ °C/Вт}$$

де  $R_1, R_2, \dots, R_n$  - термічні опори окремих шарів ( $R = \delta/\lambda$ ),

$R_{si} = 1/\alpha_B = 0,115$ ,  $\alpha_B = 8,7 \text{ Вт/(м}^2 \text{ °C)}$  - коефіцієнт тепловіддачі внутрішньої поверхні огорожувальних конструкцій [20].

$R_{se} = 1/\alpha_3 = 0,043$ ,  $\alpha_3 = 23 \text{ Вт/(м}^2 \text{ °C)}$  - коефіцієнт тепловіддачі зовнішньої поверхні огорожувальної конструкції для умов холодного періоду [20].

Коефіцієнт теплотехнічної однорідності стін із цегли  $r = 0,9$ .

Тоді приведений опір теплопередачі цегляних стін будівлі дорівнює:

$$R^r_0 = r R_0 = 0,9 \cdot 4,7 = 4,33 \text{ м}^2 \text{ °C/Вт}$$

Теплотехнічний розрахунок цегляної стіни з утеплювачем із пінополістиролу з облицювальним шаром із цегли.

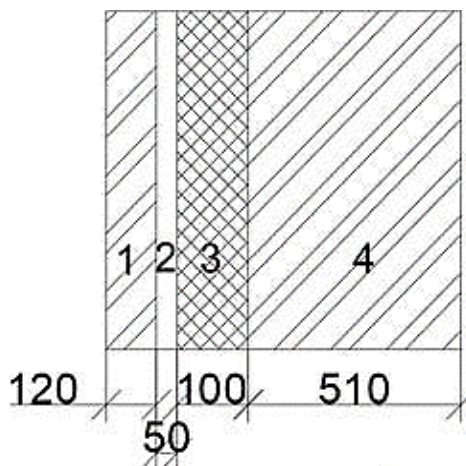


Рисунок 2.4 - Цегляна стіна з утепленням із пінополістиролу з облицювальним шаром із цегли

Таблиця 2.4 - Характеристики цегляної стіни з утепленням з пінополістиролу з облицювальним шаром із цегли

Найменування	Товщина, м	Теплопр. $\lambda$ , Вт/(м·К)	Теплозасв. $S$ , Вт/(м <sup>2</sup> ·°C)
Цегла	0,12	0,87	10,9

Продовження таблиці 2.4

Найменування	Товщина, м	Теплопр. $\lambda$ , Вт/(м·К)	Теплозасв. S, Вт/(м <sup>2</sup> ·°С)
Повітряний зазор	0,05	0,17	-
Пінополістирол	0,1	0,033	0,32
Цегла	0,51	0,87	10,9

Опір теплопередачі  $R_0, \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ , огорожувальної конструкції з послідовно розташованими однорідними шарами:

$$R_0 = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se} = 0,115 + 0,12/0,87 + 0,05/0,17 + 0,1/0,033 + 0,51/0,87 + 0,043 = 4,72 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$$

де  $R_1, R_2, \dots, R_n$  - термічні опори окремих шарів ( $R = \delta/\lambda$ ),

$R_{si} = 1/\alpha_v = 0,115$ ,  $\alpha_v = 8,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$  - коефіцієнт тепловіддачі внутрішньої поверхні огорожувальних конструкцій [20].

$R_{se} = 1/\alpha_z = 0,043$ ,  $\alpha_z = 23 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$  - коефіцієнт тепловіддачі зовнішньої поверхні огорожувальної конструкції для умов холодного періоду [20].

Коефіцієнт теплотехнічної однорідності стін із цегли  $r = 0,9$ .

Тоді приведений опір теплопередачі цегляних стін будівлі дорівнює:

$$R^r_0 = r R_0 = 0,9 \cdot 4,72 = 4,25 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$$

Теплотехнічний розрахунок цегляної стіни з утепленням із мінеральної вати за системою вентфасаду:

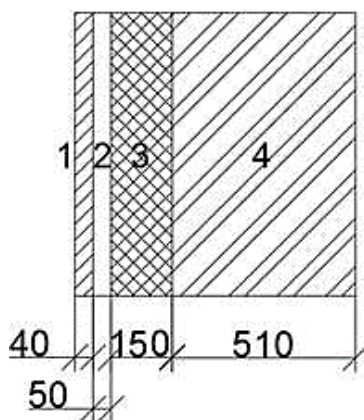


Рисунок 2.5 - Цегляна стіна з утепленням із мінеральної вати за системою вентфасаду

Таблиця 2.5 - Характеристики цегляної стіни с утепленням змінеральної вати за системою вентфасаду

Найменування	Товщина, м	Теплопр. $\lambda$ , Вт/(м·К)	Теплозасв. S, Вт/(м <sup>2</sup> ·°С)
Металокасети	0,004	221	187,6
Повітряний зазор	0,05	0,17	-
Мінеральна вата	0,15	0,042	17,98
Цегла	0,51	0,87	10,9

Опір теплопередачі  $R_0, \text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ , огорожувальної конструкції з послідовно розташованими однорідними шарами:

$$R_0 = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se} = 0,115 + 0,15/0,042 + 0,51/0,87 + 0,043 = 5,8 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$$

де  $R_1, R_2, \dots, R_n$  - термічні опори окремих шарів ( $R = \delta/\lambda$ ),

$R_{si} = 1/\alpha_b = 0,115$ ,  $\alpha_b = 8,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$  - коефіцієнт тепловіддачі внутрішньої поверхні огорожувальних конструкцій [20].

$R_{se} = 1/\alpha_3 = 0,043$ ,  $\alpha_3 = 23 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$  - коефіцієнт тепловіддачі зовнішньої поверхні огорожувальної конструкції для умов холодного періоду [20].

Коефіцієнт теплотехнічної однорідності стін із цегли  $r = 0,9$ .

Тоді приведений опір теплопередачі цегляних стін будівлі дорівнює:

$$R^r_0 = r R_0 = 0,9 \cdot 5,8 = 5,22 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$$

Теплотехнічний розрахунок цегляної стіни з утепленням із пінополістиролу за системою вентфасаду:

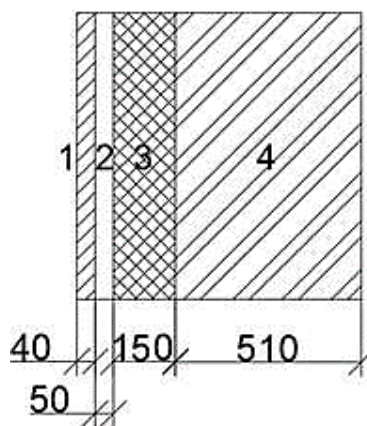


Рисунок 2.6 - Цегляна стіна з утепленням із пінополістиролу за системою вентфасаду

Таблиця 2.6 - Характеристики цегляної стіни с утепленням з пінополістиролу за системою вентфасаду

Найменування	Товщина, м	Теплопр. $\lambda$ , Вт/(м·К)	Теплозасв. S, Вт/(м <sup>2</sup> ·°С)
Металокасети	0,004	221	187,6
Повітряний зазор	0,05	0,17	-
Пінополістирол	0,15	0,033	17,98
Цегла	0,51	0,87	10,9

Опір теплопередачі  $R_{0, м^2 \cdot ^\circ C / Вт}$ , огорожувальної конструкції з послідовно розташованими однорідними шарами:

$$R_0 = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se} = 0,115 + 0,15/0,033 + 0,51/0,87 + 0,043 = 5,8 \text{ м}^2 \cdot ^\circ C / Вт$$

де  $R_1, R_2, \dots, R_n$  - термічні опори окремих шарів ( $R = \delta/\lambda$ ),

$R_{si} = 1/\alpha_v = 0,115$ ,  $\alpha_v = 23 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ C)$  - коефіцієнт тепловіддачі внутрішньої поверхні огорожувальних конструкцій [20].

$R_{se} = 1/\alpha_3 = 0,043$ ,  $\alpha_3 = 23 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ C)$  - коефіцієнт тепловіддачі зовнішньої поверхні огорожувальної конструкції для умов холодного періоду [20].

Коефіцієнт теплотехнічної однорідності стін із цегли  $r = 0,9$ . Тоді приведений опір теплопередачі цегляних стін будівлі дорівнює:  $R^r_0 = r R_0 = 0,7 \cdot 5,8 = 4,06 \text{ м}^2 \cdot ^\circ C / Вт$

Сендвіч-панель із мінераловатним утеплювачем з облицюванням за системою вентфасад.

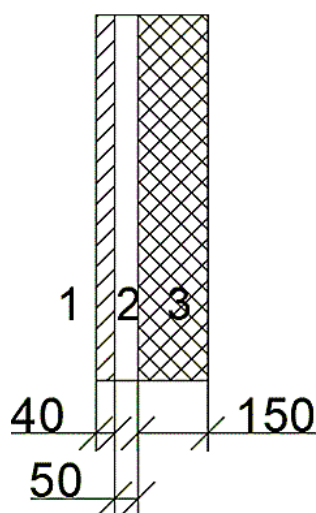


Рисунок 2.7 - Сендвіч-панель із мінераловатним утеплювачем з облицюванням за системою вентфасад.

Таблиця 2.7 - Характеристики сендвіч-панелі з мінераловатним утеплювачем з облицюванням за системою вентфасад

Найменування	Товщина, м	Теплопр. $\lambda$ , Вт/(м·К)	Теплозасв. S, Вт/(м <sup>2</sup> ·°С)
Металокасети	0,004	221	187,6
Повітряний зазор	0,05	-	-
Сендвіч панель	0,15	0,042	17,98

Опір теплопередачі  $R_0, \text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ , огорожувальної конструкції з послідовно розташованими однорідними шарами:

$$R_0 = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se} = 0,115 + 0,15/0,042 + 0,043 = 4,1 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$$

де  $R_1, R_2, \dots, R_n$  - термічні опори окремих шарів ( $R = \delta/\lambda$ ),

$R_{si} = 1/\alpha_B = 0,115$ ,  $\alpha_B = 8,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$  - коефіцієнт тепловіддачі внутрішньої поверхні огорожувальних конструкцій [20].

$R_{se} = 1/\alpha_3 = 0,043$ ,  $\alpha_3 = 23 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$  - коефіцієнт тепловіддачі зовнішньої поверхні огорожувальної конструкції для умов холодного періоду [20].

Коефіцієнт теплотехнічної однорідності стін із цегли  $r = 0,9$ .

Тоді приведений опір теплопередачі цегляних стін будівлі дорівнює:

$$R^r_0 = r R_0 = 1 \cdot 4,1 = 4,1 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$$

Сендвіч-панель з пінополістирольним утеплювачем з облицюванням за системою вентфасад.

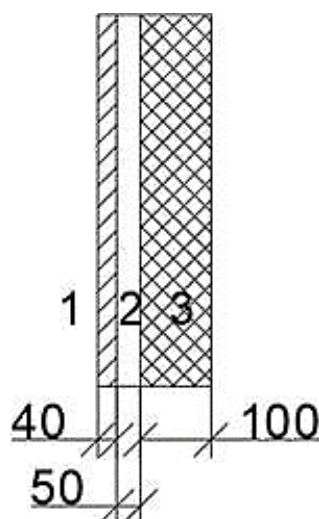


Рисунок 2.8 - Сендвіч-панель із пінополістирольним утеплювачем з облицюванням за системою вентфасад

Таблиця 2.8 - Характеристики сендвіч-панелі з пінополістирольним утеплювачем з облицюванням за системою вентфасад

Найменування	Товщина, м	Теплопр. $\lambda$ , Вт/(м·К)	Теплозасв. S, Вт/(м <sup>2</sup> ·°C)
Металокасети	0,004	221	187,6
Повітряний зазор	0,05	-	-
Сендвіч-панель	0,1	0,032	17,98

Опір теплопередачі  $R_0, \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ , огорожувальної конструкції з послідовно розташованими однорідними шарами:

$$R_0 = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se} = 0,115 + 0,1/0,032 + 0,043 = 4,28 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$$

де  $R_1, R_2, \dots, R_n$  - термічні опори окремих шарів ( $R = \delta/\lambda$ ),

$R_{si} = 1/\alpha_b = 0,115$ ,  $\alpha_b = 8,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$  - коефіцієнт тепловіддачі внутрішньої поверхні огорожувальних конструкцій [20].

$R_{se} = 1/\alpha_3 = 0,043$ ,  $\alpha_3 = 23 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$  - коефіцієнт тепловіддачі зовнішньої поверхні огорожувальної конструкції для умов холодного періоду [20].

Коефіцієнт теплотехнічної однорідності стін із цегли  $r = 0,9$ .

Тоді приведений опір теплопередачі цегляних стін будівлі дорівнює:

$$R^r_0 = r R_0 = 1 \cdot 4,28 = 4,28 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$$

Під час проведення теплотехнічного розрахунку було визначено геометричні параметри 8 конструктивних схем багатошарових стін.

Ці параметри задовольняють вимогам щодо теплозахисту будівель.

## 2.2 Розрахунок терміну служби зовнішніх стін із полімеровмісним утеплювачем за критерієм теплозахисту

Прогнозування довговічності стін з полімеровмісними утеплювачами проводиться за методикою, описаною в джерелі [5].

Розрахунок проводили за допомогою програмного комплексу Excel.

Конструктивні схеми багатошарових стін:

- 1) цегляна стіна з утепленням із пінополістиролу за системою мокрий фасад;

- 2) цегляна стіна з утепленням з пінополістиролу з облицювальним шаром із цегли;
- 3) цегляна стіна з утепленням із пінополістиролу за системою вентфасаду;
- 4) Сендвіч-панель з пінополістирольним утеплювачем з облицюванням за системою вентфасад.

Розрахунок довговічності цегляної стіни з утепленням з пінополістиролу за системою мокрий фасад:

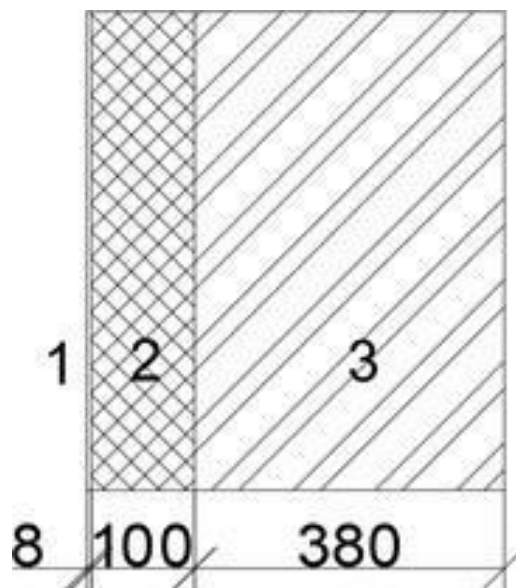


Рисунок 2.9 - Цегляна стіна з утепленням із пінополістиролу за системою мокрий фасад

Таблиця 2.9 - Характеристика цегляної стіни із утепленням з пінополістиролу за системою мокрий фасад

Найменування	Товщина, м	Теплопр. $\lambda$ , Вт/(м·К)	Теплозасв. S, Вт/(м <sup>2</sup> ·°С)
Штукатурний шар	0,008	0,26	8,48
Пінополістирол	0,1	0,033	0,32
Цегла	0,38	0,87	10,9

Результати розрахунку довговічності зведено в таблицю 2.10

Таблиця 2.10 - Результати розрахунку довговічності цегляної стіни з утепленням із пінополістиролу за системою мокрий фасад

Орієнтація	Пд	Зх(Сх)	ПдЗх(ПдСх)	ПнЗх(ПнСх)	Пн
Довговічність, років	28	33	29	42	49

На підставі результатів розрахунку можна зробити висновок, що необхідна довговічність багатошарової стіни в 40-60 років задовольняється з Північного, Північно-Західного і Північно-Східного боку будівлі. На інших стінах потрібно збільшити товщину утеплювача на 10 %.

Розрахунок довговічності цегляної стіни с утеплювачем з пінополістиролу з облицювальним шаром із цегли.

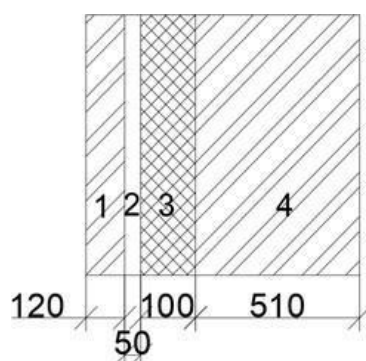


Рисунок 2.10 - Цегляна стіна з утепленням із пінополістиролу з облицювальним шаром із цегли

Таблиця 2.11 - Характеристики цегляної стіни із утепленням з пінополістиролу з облицювальним шаром із цегли

Найменування	Товщина, м	Теплопр. $\lambda$ , Вт/(м·К)	Теплозасв. S, Вт/(м <sup>2</sup> ·°С)
Цегла	0,12	0,87	10,9
Повітряний зазор	0,05	0,17	-
Пінополістирол	0,1	0,033	0,32
Цегла	0,51	0,87	10,9

Результати розрахунку довговічності зведено в таблицю 2.12.



Таблиця 2.12 - Результати розрахунку довговічності цегляної стіни з утепленням із пінополістиролу з облицювальним шаром із цегли

Орієнтація	Пд	Зх(Сх)	ПдЗх(ПдСх)	ПнЗх(ПнСх)	Пн
Довговічність, років	37	44	39	57	67

На підставі результатів розрахунку можна зробити висновок, що необхідна довговічність багат шарової стіни в 40-60 років задовольняється з Північного, Північно-Західного і Північно-Східного боку будівлі. На інших стінах потрібно збільшити товщину утеплювача на 10 %.

Теплотехнічний розрахунок цегляної стіни з утепленням з пінополістиролу за системою вентфасаду.

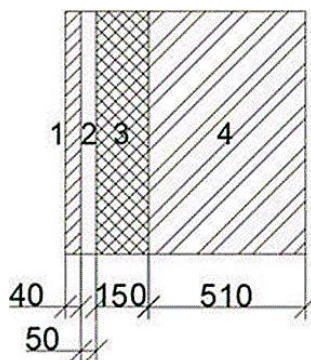


Рисунок 2.11 - Цегляна стіна з утепленням із пінополістиролу за системою вентфасаду

Таблиця 2.13 - Характеристики цегляної стіни із утепленням з пінополістиролу за системою вентфасаду

Найменування	Товщина, м	Теплопр. $\lambda$ , Вт/(м·К)	Теплозасв. S, Вт/(м <sup>2</sup> ·°С)
Металокасети	0,004	221	187,6
Повітряний зазор	0,05	0,17	-
Пінополістирол	0,15	0,033	0,32
Цегла	0,51	0,87	10,9

Результати розрахунку довговічності зведено в таблицю 2.14

Таблиця 2.14 - Результати розрахунку довговічності цегляної стіни з утепленням із пінополістиролу за системою вентфасаду

Орієнтація	Пд	Зх(Сх)	ПдЗх(ПдСх)	ПнЗх(ПнСх)	Пн
Довговічність, років	149	176	154	220	259

На підставі результатів розрахунку можна зробити висновок, що необхідна довговічність багатошарової стіни в 40-60 років задовольняється. У цьому разі під час теплотехнічного розрахунку застосовувався коефіцієнт неоднорідності 0,7. Через це кількість утеплювача потрібна більша, відповідно довговічність за критерієм теплозахисту збільшується.

Сендвіч-панель з пінополістирольним утеплювачем з облицюванням за системою вентфасад.

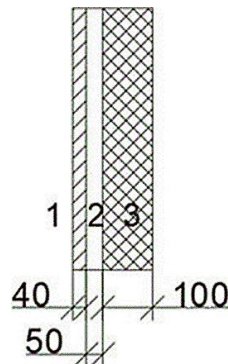


Рисунок 2.12 - Сендвіч-панель із пінополістирольним утеплювачем з облицюванням за системою вентфасад

Таблиця 2.15 - Характеристики сендвіч-панелі із пінополістирольним утеплювачем з облицюванням за системою вентфасад

Найменування	Товщина, м	Теплопр. $\lambda$ , Вт/(м·К)	Теплозасв. S, Вт/(м <sup>2</sup> ·°С)
Металокасети	0,004	221	187,6
Повітряний зазор	0,05	-	-
Сендвіч-панель	0,1	0,032	17,98

Результати розрахунку довговічності зведено в таблицю 2.16

Таблиця 2.16 - Результати розрахунку довговічності сендвіч панелі з пінополістирольним утеплювачем з облицюванням за системою вентфасад

Орієнтація	Пд	Зх(Сх)	ПдЗх(ПдСх)	ПнЗх(ПнСх)	Пн
Довговічність, років	6	8	7	10	12

На підставі результатів розрахунку можна зробити висновок, щонеобхідна довговічність багатошарової стіни в 40-60 років не забезпечується. Для досягнення необхідної довговічності необхідно збільшити товщину утеплювача на 20%.

Також можна вивести залежність довговічності від товщини утеплювача. Як конструкцію для розрахунку прийнято тришарову стіну з несучим шаром із цегли 380мм, утеплювача з пінополістиролу 100мм і облицювання з штукатурного шару 8мм. Розрахунок проводили на південнійстороні, тому стороні, тому що з інших сторін довговічність конструкції за критерієм втрати теплозахисту становить понад 50 років.

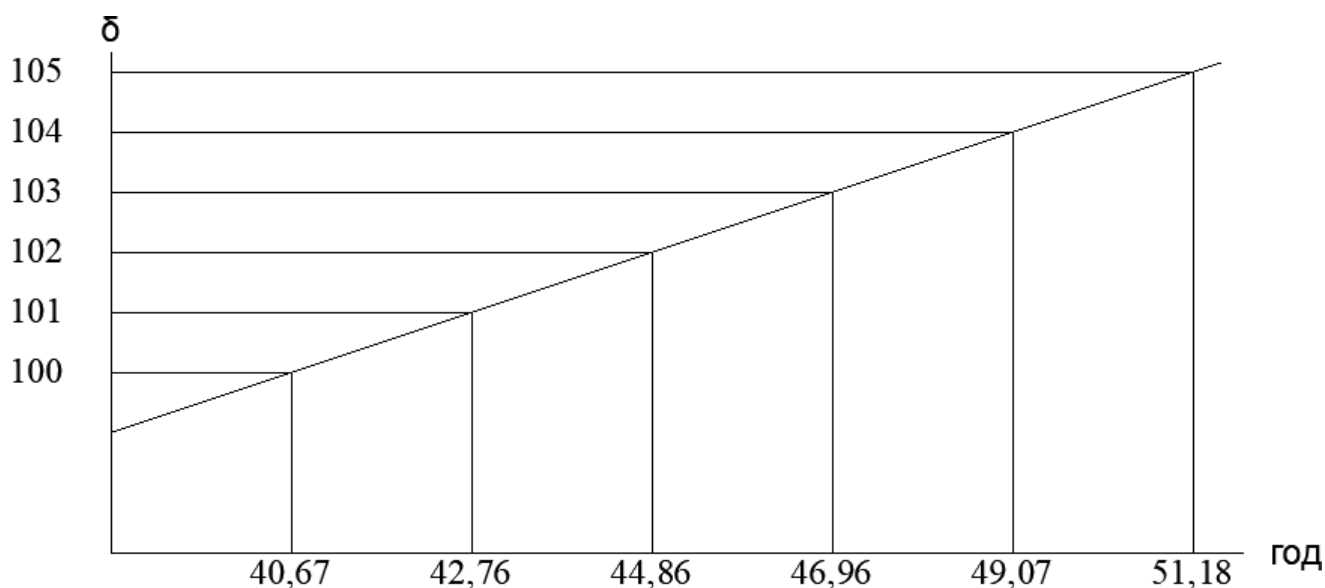


Рисунок 2.13 - Графік залежності довговічності багатошарової стіни за критерієм теплозахисту від товщини утеплювача

### **2.3 Висновки до розділу 2**

Під час виконання теплотехнічних розрахунків і розрахунків на довговічність було виявлено, що товщину утеплювача, що містить полістирол, отриману за розрахунком, необхідно збільшувати на 10-12%. Однак у разі використання коефіцієнта неоднорідності, меншого або такого, що дорівнює 0,8, товщини утеплювача за розрахунком достатньо для задоволення вимоги довговічності в 40-60 років за критерієм втрати теплозахисту багатошарової стіни.

## РОЗДІЛ 3

### НАТУРНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМУ БАГАТОШАРОВОЇ СТІНИ

Під час дослідження питання довговічності було визначено, що наявна методика визначення довговічності за морозостійкістю не відображає реального експлуатаційного режиму. Кількість циклів поперемінного заморожування-відтавання в методиці набагато менша, ніж у реальних експлуатаційних умовах.

#### 3.1 Характеристики експериментального майданчика

Для проведення натурних досліджень було проведено роботи з утеплення стіни технічного підвалу індивідуального житлового будинку.

Характеристики житлового будинку:

Конструктивна схема - безкаркасна;

Фундаменти - стрічкові бетонні шириною 300 мм;

Огороджувальні стіни - багатошарова конструкція, що складається з бруса, мінеральної вати, повітряного зазору і фасадної дошки;

Перекриття - дерев'яне;

Покрівля вальмова кроквяна;

Як утеплювач для стіни технічного підвалу застосовували пінопласт щільність  $25 \text{ кг/м}^3$  завтовшки 100 мм.

Для теплотехнічних розрахунків температура в технічному підвалі прийнята  $18^\circ \text{C}$ .

Перед виконанням натурних випробувань було запроєктовано вузол (рисунок 3.1) і методику проведення робіт з утеплення стіни технічного підвалу.



Рисунок 3.1 - фрагмент стіни технічного підвалу перед утепленням



Рисунок 3.2 - фрагмент утеплення стіни технічного підвалу

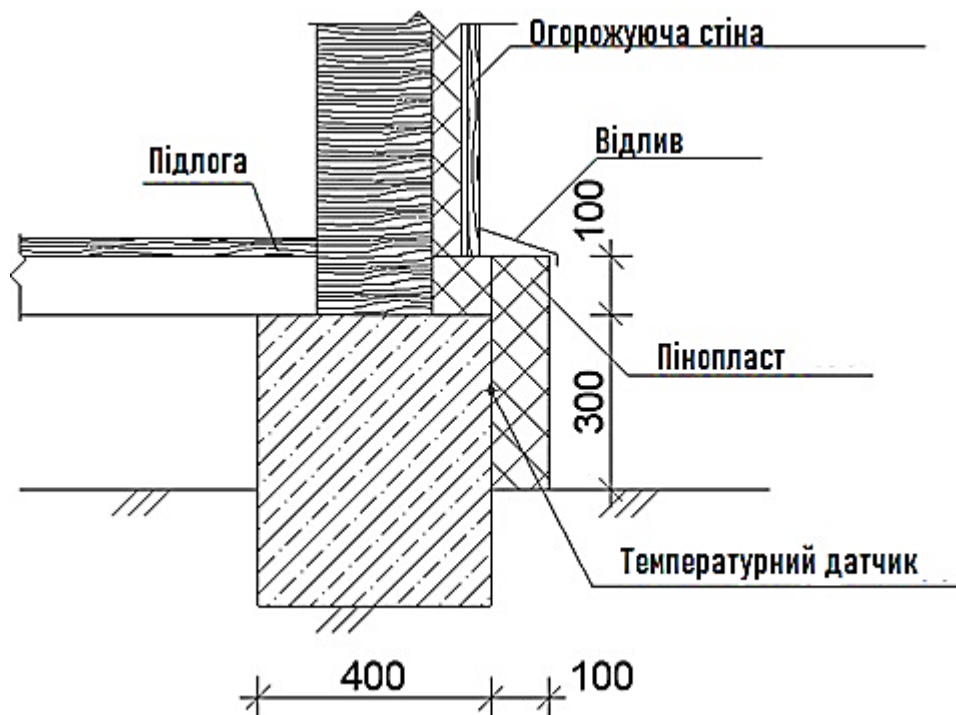


Рисунок 3.3 - Вузол утеплення стіни технічного підвалу житлового будинку

Теплотехнічний розрахунок.

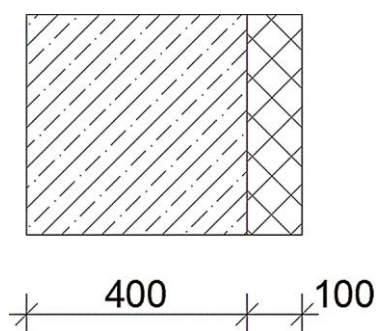


Рисунок 3.4 - Схема розрахункової стіни технічного підвалу

Таблиця 3.1 - Характеристики розрахункової стіни технічного підвалу

№	Найменування	Товщина, м	Теплопр. $\lambda$ , Вт/(м·К)	Теплозасв. S, Вт/(м <sup>2</sup> ·°С)
1	Бетон щільність 2,4 т/м <sup>3</sup>	0,4	1,74	187,6
2	Пінопласт щільність 0.1 т/м <sup>3</sup>	0,1	0,038	0,31

Опір теплопередачі  $R_0, \text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$ , огорожувальної конструкції з послідовно розташованими однорідними шарами:

$$R_0 = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se} = 0,115 + 0,4/1,74 + 0,1/0,038 + 0,043 = 4,02 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$$

де  $R_1, R_2, \dots, R_n$  - термічні опори окремих шарів ( $R = \delta/\lambda$ ),

$R_{si} = 1/\alpha_B = 0,115$ ,  $\alpha_B = 8,7 \text{ Вт}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$  - коефіцієнт тепловіддачі внутрішньої поверхні огорожувальних конструкцій [20].

$R_{se} = 1/\alpha_3 = 0,043$ ,  $\alpha_3 = 23 \text{ Вт}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$  - коефіцієнт тепловіддачі зовнішньої поверхні огорожувальної конструкції для умов холодного періоду [20].

Коефіцієнт теплотехнічної однорідності стін із цегли  $r = 1$ .

Тоді приведений опір теплопередачі цегляних стін будівлі дорівнює:

$$R^r_0 = r R_0 = 1 \cdot 4,02 = 4,02 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$$

Конструкція стіни задовольняє вимогам теплозахисту.

Методика виконання робіт.

Перед виконанням робіт з утеплення стіни необхідно очистити поверхню від бруду і пилу та встановити температурний датчик. Технологія теплоізоляції стіни технічного підвалу нагадує методику влаштування "мокрих фасадів". Утеплювач закріплюють у два шари так, щоб другий шар перекривав стики першого. Закріплення здійснюється за допомогою тарілчастих дюбель-цвяхів і клей-піни, які встановлюються з розрахунковим кроком. На перший шар утеплювача наноситься клей-піна по всій поверхні частини матеріалу, що приклеюється. Після твердіння клею приклеюється другий шар.

Після того, як клей набере достатню міцність за допомогою перфоратора, просвердлюють отвори для тарілчастих дюбель-цвяхів. Після монтажу утеплювач закривається від атмосферних опадів оцинкованою сталлю.

### 3.2 Результати дослідження теплового режиму багатошарової стіни

За результатами виконаного експерименту було отримано дані про температуру повітря, а також на зовнішній і внутрішній межі утеплювача. За цими даними було побудовано графік температур зовнішнього повітря за досліджуваний



період і графік розподілу температур і визначено зони (рисунок 3.5).

Під час дослідження щодня з останніх чисел вересня до середини листопада 3 рази на день заміряли температуру всередині приміщення, зовнішнього повітря і на межі утеплювача і несучого шару стіни підвалу.

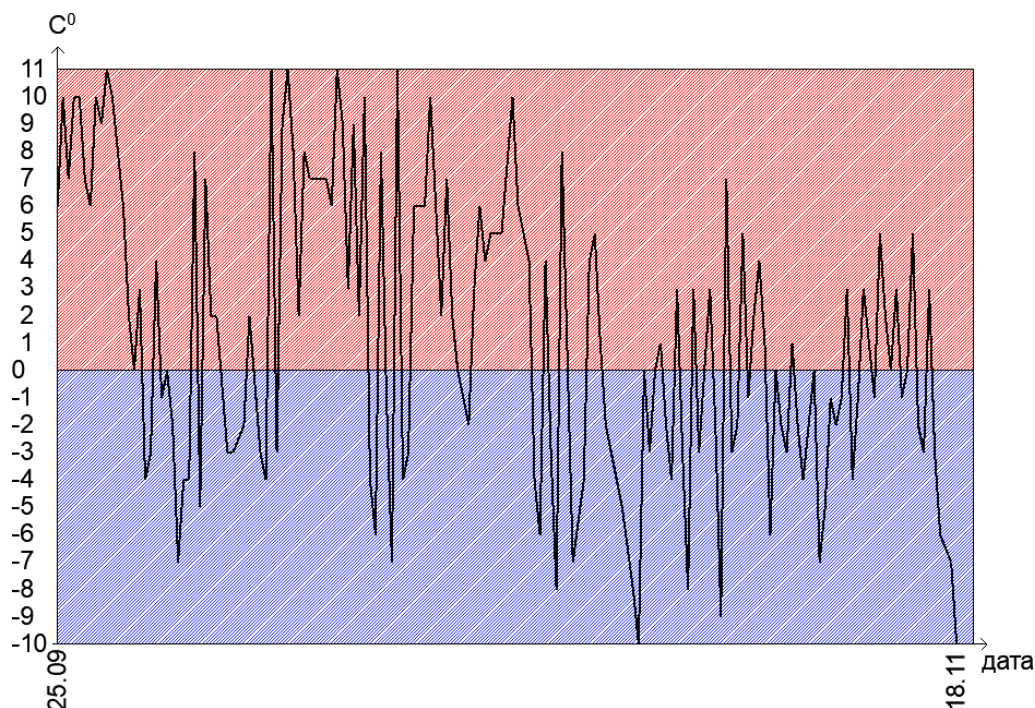


Рисунок 3.5 - Графік температур зовнішнього повітря за досліджуваний період

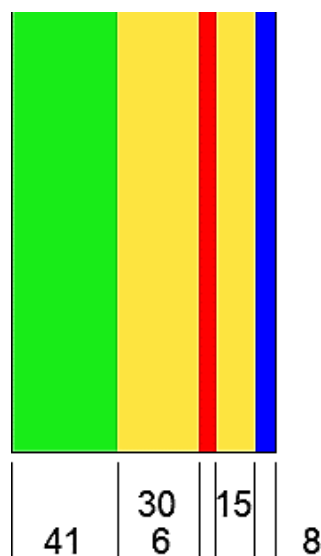
Момент заморожування відбувається, коли графік опускається нижче позначки  $-2,5^{\circ}\text{C}$  [79]. Момент відтавання відбувається коли графік піднімається вище позначки  $-2,5^{\circ}\text{C}$  [79]. Почергове проходження графіка через момент заморожування і відтавання приймається за один цикл.

На рисунку 3.5 - кількість циклів становить 25. Ця кількість циклів відбувається за осінній період. Прийmemo, що за весняний період відбувається теж 25 циклів.

Відповідно до методики визначення довговічності матеріалу за морозостійкістю два цикли поперемінного заморожування-відтавання відповідають одному року експлуатації. Можна сказати, що один рік лабораторного випробування дорівнює  $1/25$  реального експлуатаційного року. Однак

випробування на морозостійкість проводять за повного вологонасичення матеріалу. Вентфасад унеможливає накопичення вологи в товщі утеплювача, що призводить до питання, як прогнозувати довговічність, якщо реальні експлуатаційні умови розходяться з лабораторними як у кількості циклів, так і у вихідних характеристиках?

Для цього розглянемо температурно-вологісний режим усередині утеплювача для визначення зон схильних до накопичення вологи, заморожування-розморожування і зон практично невідкладних руйнуванню.



зелений - зона постійної позитивної температури жовтий - зона помірної міграції нульової температури в товщі матеріалу червоний - зона частоті міграції нульової температури в товщі матеріалу синій - зона постійних негативних температур.

Рисунок 3.6 - Розподіл зон заморожування і відтавання експериментального зразка утеплювача

У зоні з постійними позитивними і негативними температурами, кількість циклів заморожування та відтавання практично збігається з кількістю, зазначеною в методиці визначення довговічності за морозостійкістю. Тому ці зони задовольняють заявленому виробником терміну служби. У такому разі як коефіцієнт теплопровідності приймаємо коефіцієнт теплопровідності матеріалу.

У зоні помірної міграції нульової температури в товщі матеріалу збільшуємо

коефіцієнт теплопровідності в 2,5 разів. У процесі експлуатації матеріал піддається більшій кількості циклів, ніж заявлено в методиці, але меншій, ніж показали дослідження.

У зоні частоті міграції нульової температури в товщі матеріалу збільшуємо коефіцієнт теплопровідності у 2,5 рази.

Для визначення необхідної товщини утеплювача з урахуванням вимог довговічності необхідно провести теплотехнічний розрахунок з урахуванням вищевикладених змін.

Висновки з проведення натурного експерименту: Отримані дані з натурних досліджень підтверджують, що кількість циклів заморожування-відтавання, прийнятих у методиках, не відповідають реальній кількості. Так, у методиках визначення довговічності утеплювачів кількість циклів прийнято 2, що прирівнюється до одного року експлуатації. В експериментальних даних кількість циклів заморожування-відтавання тільки за осінній період понад 20.

Таким чином для більш точного визначення довговічності утеплювачів необхідно прирівнювати 20 циклів заморожування-відтавання до одного року експлуатації.

У роботі [7] доведено, що на довговічність впливає не тривалість заморожування, а кількість циклів. У роботі [7] доведено, що вже через 15 років експлуатації коефіцієнт теплопровідності мінеральної вати збільшується в 2,5 рази. Якщо провести теплотехнічний розрахунок із застосуванням збільшеного коефіцієнта - стіна не буде задовольняти вимогам теплозахисту. Але застосовувати збільшення коефіцієнта на всю товщину утеплювача не доцільно, оскільки за отриманими з експерименту даними видно, що частина утеплювача перебуває в постійних позитивних температурах і не піддається впливу заморожування-відтавання. Оскільки заморожування-відтавання є найбільш руйнівним фактором для мінеральної вати, можна сказати, що в зоні позитивних температур цей матеріал практично не схильний до старіння. Таким чином під час проведення теплотехнічного розрахунку необхідно збільшувати коефіцієнт теплопровідності тільки для зони постійних негативних температур. Ця зона буде знаходитися із

зовнішнього боку багатошарової стіни до точки зі значенням  $0^{\circ}\text{C}$ .

Для визначення товщини зони постійних негативних температур необхідно побудувати графік розподілу температур за і виміряти товщину утеплювача від точки зі значенням  $0^{\circ}\text{C}$  до зовнішньої межі утеплювача.

Далі необхідно провести теплотехнічний розрахунок з урахуванням збільшення коефіцієнта теплопровідності утеплювача в зоні постійних негативних температур. У разі невідповідності вимогам теплозахисту необхідно збільшити товщину утеплювача в зоні постійних позитивних температур. Остаточну товщину утеплювача округлити до 10 мм у більший бік.

### **3.3 Теплотехнічний розрахунок з урахуванням зниження теплозахисних властивостей утеплювача під час експлуатації**

Для теплотехнічного розрахунку з урахуванням погіршення теплозахисних властивостей утеплювача під час експлуатації необхідно прийняти перелік умов, що спрощують розрахунок:

- 1) Кут нахилу лінії в шарі утеплювача в графіку розподілу температур вважати незмінним у період експлуатації;
- 2) Зону позитивних температур вважати до перетину лінії графік розподілу температур позначки в  $0^{\circ}\text{C}$ ;
- 3) Коефіцієнт теплопровідності в зоні позитивних температур вважати незмінним;

За необхідності збільшити товщину утеплювача за теплотехнічним розрахунком, необхідну величину додавати до зони постійних позитивних температур.

Для проведення теплотехнічного розрахунку з урахуванням погіршення теплозахисних властивостей утеплювача під час експлуатації прийнято такі конструктивні схеми багатошарових стін:

- 1) Цегляна стіна з утепленням із мінеральної вати за системою мокрий фасад;

- 2) Цегляна стіна с утепленням з мінеральної вати з облицювальним шаром із цегли;
- 3) Цегляна стіна з утепленням із мінеральної вати за системою вентфасаду;
- 4) Сендвіч-панель із мінераловатним утеплювачем з облицюванням за системою вентфасад.

Теплотехнічний розрахунок цегляної стіни з утепленням із мінеральної вати за системою мокрий фасад:

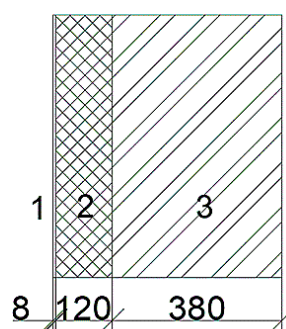


Рисунок 3.7 - Цегляна стіна з утепленням із мінеральної вати за системою мокрий

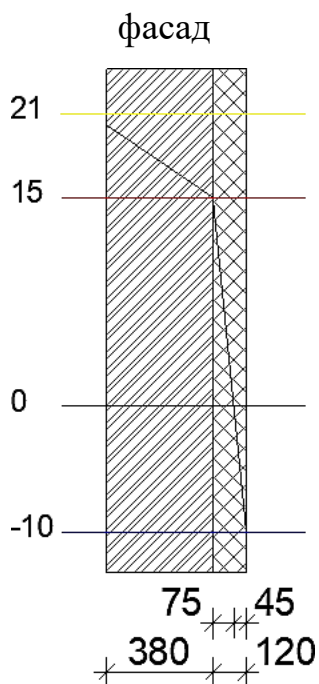


Рисунок 3.8 - Графік розподілу температур у шарі утеплювача цегляної стіни з утепленням із мінеральної вати за системою мокрий фасад

Таблиця 3.2 - Характеристики цегляної стіни с утепленням змінеральної вати за системою мокрий фасад

Найменування	Товщина,м	Теплопр. $\lambda$ , Вт/(м·К)	Теплозасв. S, Вт/(м <sup>2</sup> ·°С)
Штукатурний шар	0,008	0,26	8,48
Мінеральна вата	0,045	0,0975	0,32
Мінеральна вата	0,075	0,039	0,32
Цегла	0,38	0,87	10,9

Опір теплопередачі  $R_0, \text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$ , огорожувальної конструкції з послідовно розташованими однорідними шарами:

$$R_0 = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se} = 0,115 + 0,008/0,26 + 0,045/0,0975 + 0,075/0,039 + 0,038/0,87 + 0,043 = 4,5 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$$

де  $R_1, R_2, \dots, R_n$  - термічні опори окремих шарів ( $R = \delta/\lambda$ ),

$R_{si} = 1/\alpha_b = 0,115$ ,  $\alpha_b = 8,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$  - коефіцієнт тепловіддачі внутрішньої поверхні огорожувальних конструкцій [20].

$R_{se} = 1/\alpha_3 = 0,043$ ,  $\alpha_3 = 23 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$  - коефіцієнт тепловіддачі зовнішньої поверхні огорожувальної конструкції для умов холодного періоду [20].

Коефіцієнт теплотехнічної однорідності стін із цегли  $r = 0,9$ .

Тоді приведений опір теплопередачі цегляних стін будівлі дорівнює:

$$R^r_0 = r R_0 = 0,9 \cdot 4,5 = 4,05 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$$

Опір теплопередачі  $R_0, \text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$ , огорожувальної конструкції з послідовно розташованими однорідними шарами:

$$R_0 = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se} = 0,115 + 0,008/0,26 + 0,045/0,0975 + (0,075 + 0,1)/0,039 + 0,38/0,87 + 0,043 = 4,57 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт},$$

$$R^r_0 = r R_0 = 0,9 \cdot 4,57 = 4,11 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$$

Необхідний опір теплопередачі задовольняє вимогу теплозахисту. У разі застосування утеплювача товщиною 130 мм огорожувальна конструкція задовольнятиме вимогу теплозахисту протягом 50 років.

Теплотехнічний розрахунок цегляної стіни з утеплювачем із мінеральної вати з облицювальним шаром із цегли:

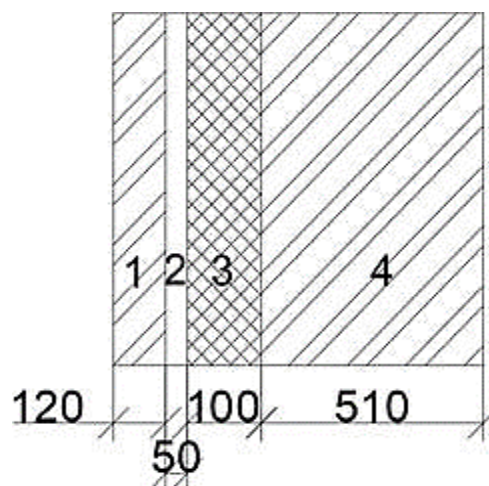


Рисунок 3.10 - Цегляна стіна з утепленням із мінеральної вати з облицювальним шаром із цегли

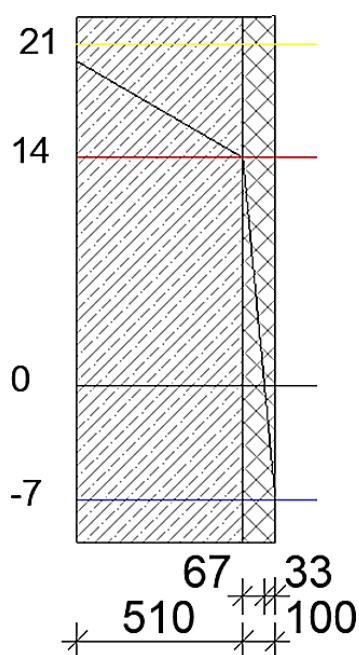


Рисунок 3.11 - Графік розподілу температур у шарі утеплювача цегляної стіни з утепленням із мінеральної вати з облицювальним шаром з цегли

Таблиця 3.3 - Характеристики цегляної стіни с утепленням змінеральної вати з облицювальним шаром із цегли

Найменування	Товщина, м	Теплопр. $\lambda$ , Вт/(м·К)	Теплозасв. S, Вт/(м <sup>2</sup> ·°С)
Цегла	0,12	0,87	10,9
Повітряний зазор	0,05	0,17	-
Мінеральна вата	0,033	0,0975	0,32
Цегла	0,51	0,87	10,9

Опір теплопередачі  $R_0$ , м<sup>2</sup> · °С/Вт, огорожувальної конструкції з послідовно розташованими однорідними шарами:

$$R_0 = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se} = 0,115 + 0,12/0,87 + 0,05/0,17 + 0,033/0,0975 + 0,068/0,039 + 0,051/0,87 + 0,043 = 4,89 \text{ м}^2 \text{ °С/Вт}$$

де  $R_1, R_2, \dots, R_n$  - термічні опори окремих шарів ( $R = \delta/\lambda$ ),

$R_{si} = 1/\alpha_b = 0,115$ ,  $\alpha_b = 8,7$  Вт/(м<sup>2</sup>·°С) - коефіцієнт тепловіддачі внутрішньої поверхні огорожувальних конструкцій [20].

$R_{se} = 1/\alpha_z = 0,043$ ,  $\alpha_z = 23$  Вт/(м<sup>2</sup> · °С) - коефіцієнт тепловіддачі зовнішньої поверхні огорожувальної конструкції для умов холодного періоду [20].

Коефіцієнт теплотехнічної однорідності стін із цегли  $r = 0,9$ .

Тоді приведений опір теплопередачі цегляних стін будівлі дорівнює:

$$R^r_0 = r R_0 = 0,9 \cdot 4,89 = 4,6 \text{ м}^2 \text{ °С/Вт}$$

Опір теплопередачі  $R_0$  м<sup>2</sup> · °С/Вт, огорожувальної конструкції з послідовно розташованими однорідними шарами:

$$R_0 = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se} = 0,115 + 0,12/0,87 + 0,05/0,17 + 0,033/0,0975 + (0,067 + 0,2)/0,039 + 0,51/0,87 + 0,043 = 4,4 \text{ м}^2 \text{ °С/Вт},$$

$$R^r_0 = r R_0 = 0,9 \cdot 3,4 = 4,06 \text{ м}^2 \text{ °С/Вт}$$

Необхідний опір теплопередачі задовольняє вимогу теплозахисту. У разі застосування утеплювача товщиною 120 мм огорожувальна конструкція задовольнятиме вимогу теплозахисту протягом 50 років.



Теплотехнічний розрахунок цегляної стіни з утепленням із мінеральної вати за системою вентфасаду.

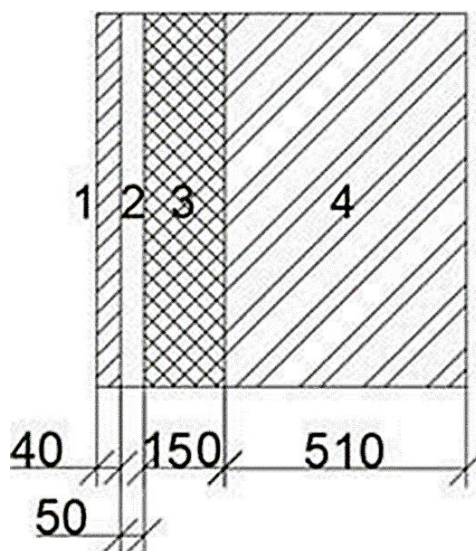


Рисунок 3.12 - Цегляна стіна з утепленням із мінеральної вати по системі вентфасаду

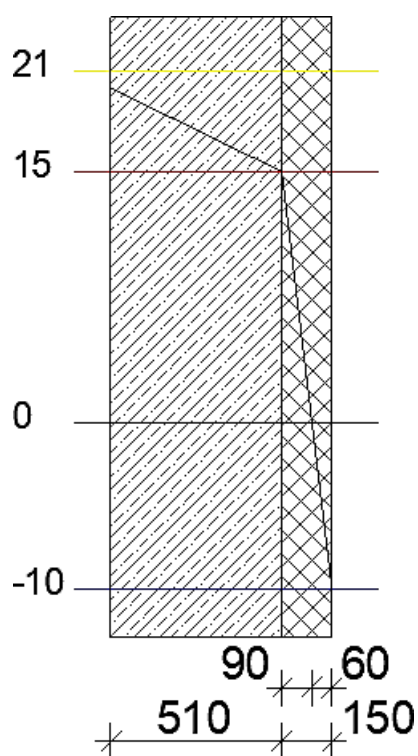


Рисунок 3.13 - Графік розподілу температур у шарі утеплювача цегляної стіни з утепленням із мінеральної вати за системою вентфасаду

Таблиця 3.4 - Характеристики цегляної стіни с утепленням змінеральної вати за системою вентфасаду

№	Найменування	Товщина, м	Теплопр. $\lambda$ , Вт/(м·К)	Теплозасв. S, Вт/(м <sup>2</sup> ·°С)
1	Металокасети	0,004	221	187,6
2	Повітряний зазор	0,05	0,17	-
3	Мінеральна вата	0,06	0,0975	17,98
4	Мінеральна вата	0,09	0,039	
5	Цегла	0,51	0,87	10,9

Опір теплопередачі  $R_0$ , м<sup>2</sup> ·°С/Вт, огорожувальної конструкції з послідовно розташованими однорідними шарами:

$$R_0 = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se} = 0,115 + 0,06/0,0975 + 0,09/0,039 + 0,51/0,87 + 0,043 = 5,77 \text{ м}^2 \text{ °С/Вт, де } R_1, R_2, \dots, R_n \text{ - термічні опори окремих шарів } (R = \delta/\lambda),$$

$R_{si} = 1/\alpha_B = 0,115$ ,  $\alpha_B = 8,7 \text{ Вт/(м}^2 \text{ °С)}$  - коефіцієнт тепловіддачі внутрішньої поверхні огорожувальних конструкцій [20].

$R_{se} = 1/\alpha_3 = 0,043$ ,  $\alpha_3 = 23 \text{ Вт/(м}^2 \text{ °С)}$  - коефіцієнт тепловіддачі зовнішньої поверхні огорожувальної конструкції для умов холодного періоду [20].

Коефіцієнт теплотехнічної однорідності стін із цегли  $r = 0,9$ .

Тоді приведений опір теплопередачі цегляних стін будівлі дорівнює:

$$R^r_0 = r R_0 = 0,7 \cdot 5,77 = 4,04 \text{ м}^2 \text{ °С/Вт}$$

Опір теплопередачі  $R_0$ , м<sup>2</sup> ·°С/Вт, огорожувальної конструкції з послідовно розташованими однорідними шарами:

$$R_0 = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se} = 0,115 + 0,06/0,0975 + (0,09 + 0,02)/0,039 + 0,51/0,87 + 0,043 = 4,18 \text{ м}^2 \text{ °С/Вт,}$$

$$R^r_0 = r R_0 = 0,7 \cdot 4,18 = 2,93 \text{ м}^2 \text{ °С/Вт}$$

$$R^r_0 = 2,93 \text{ м}^2 \text{ °С/Вт} > R_{req} = 2,92 \text{ м}^2 \text{ °С/Вт}$$

Необхідний опір теплопередачі задовольняє вимогу теплозахисту. У разі застосування утеплювача товщиною 170 мм огорожувальна конструкція задовольнятиме вимогу теплозахисту протягом 50 років.

Сендвіч-панель із мінераловатним утеплювачем з облицюванням за системою вентфасад.

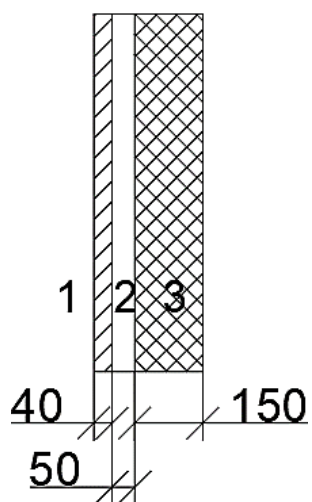


Рисунок 3.14 - Сендвіч-панель із мінераловатним утеплювачем з облицюванням за системою вентфасад

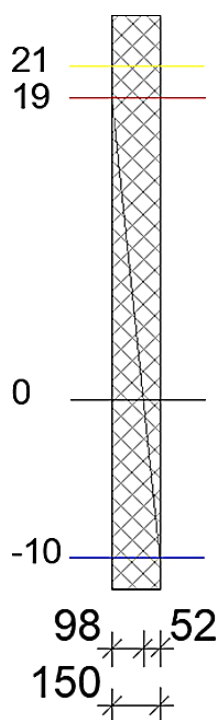


Рисунок 3.15 - Графік розподілу температур у шарі утеплювача сендвіч-панелі з мінераловатним утеплювачем з облицюванням за системою вентфасад

Таблиця 3.5 - Характеристики сендвіч - панелі с мінераловатним утеплювачем з облицюванням за системою вентфасад

№	Найменування	Товщина,м	Теплопр. $\lambda$ , Вт/ (м·К)	Теплозасв. S,Вт/(м <sup>2</sup> ·°С)
1	Металокасети	0,004	221	187,6
2	Повітряний зазор	0,05	-	-
3	Сендвіч панель	0,052	0,105	17,98
4	Сендвіч панель	0,098	0,042	17,98

Опір теплопередачі  $R_0, \text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$ , огорожувальної конструкції з послідовно розташованими однорідними шарами:

$$R_0 = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se} = 0,115 + 0,052/0,105 + 0,098/0,042 + 0,043 = 4,09 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$$

де  $R_1, R_2, \dots, R_n$  - термічні опори окремих шарів ( $R = \delta/\lambda$ ),

$R_{si} = 1/\alpha_B = 0,115$ ,  $\alpha_B = 8,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$  - коефіцієнт тепловіддачі внутрішньої поверхні огорожувальних конструкцій [20].

$R_{se} = 1/\alpha_3 = 0,043$ ,  $\alpha_3 = 23 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$  - коефіцієнт тепловіддачі зовнішньої поверхні огорожувальної конструкції для умов холодного періоду [20].

Коефіцієнт теплотехнічної однорідності стін із цегли  $r = 0,9$ .

Тоді приведений опір теплопередачі цегляних стін будівлі дорівнює:

$$R_0^r = r R_0 = 1 \cdot 4,09 = 2,99 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$$

Необхідний опір теплопередачі задовольняє вимогу теплозахисту. У разі застосування сендвіч-панелі товщиною 150 мм огорожувальна конструкція задовольнятиме вимогу теплозахисту протягом 50 років.

### 3.4 Висновки до третього розділу

Під час дослідження проблеми прогнозування довговічності було виявлено невідповідності методик визначення довговічності утеплювачів.

Для мінераловатних утеплювачів найбільш достовірною методикою є визначення довговічності за морозостійкістю. Однак ці методики не відповідають реальним експлуатаційним умовам.

Для підтвердження цього твердження було проведено натурні випробування. Після обробки отриманих даних було визначено, що кількість циклів поперемінного заморожування-відтавання в осінній період становить 20 циклів. Однак знання того, що методика не відповідає експлуатаційним умовам, не розв'язує проблему виходу з ладу за критерієм теплозахисту раніше закладеного проектом терміну.

Для вирішення обумовленої проблеми було розроблено методику проведення теплотехнічного розрахунку з урахуванням зносу мінераловатного утеплювача. У період експлуатації частина утеплювача не підпадає під вплив поперемінного заморожування-відтавання, оскільки перебуває завжди в позитивній температурі. У таких умовах мінераловатні утеплювачі не піддаються руйнуванню. Однак з боку негативних температур матеріал виходить з ладу за критерієм теплопровідності раніше від закладеного проектом терміну. Для того, щоб врахувати цю особливість матеріалу, необхідно під час проведення теплотехнічного розрахунку розділити утеплювач на дві зони. З боку позитивної температури коефіцієнт теплопровідності залишається незмінним. З боку від'ємних температур коефіцієнт теплопровідності збільшується в 2,5 разів [79].

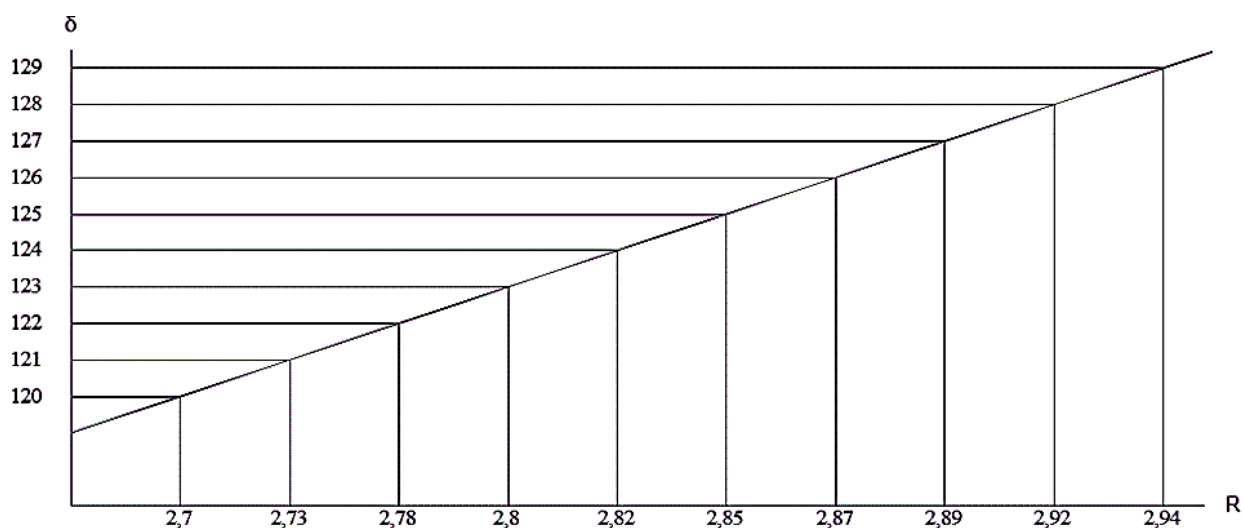


Рисунок 3.16 - Графік залежності розрахункового опору теплопередачі багат шарової стіни від товщини утеплювача

Під час виконання теплотехнічних розрахунків різних конструкцій за розробленою методикою було виявлено, що у разі збільшення товщини утеплювача на 10-20 мм конструкція задовольнятиме вимогу теплозахисту протягом 50 років.

Також можна вивести залежність коефіцієнта теплопровідності від товщини утеплювача. Як конструкцію для розрахунку прийнято тришарову стіну з несучим шаром із цегли 380мм, утеплювача з мінеральної вати 120мм і облицювання зі штукатурного шару 8мм.

## РОЗДІЛ 4

### ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

#### 4.1 Охорона праці

Охорона праці – це зведення законодавчих актів і правил, відповідних їм гігієнічних, організаційних, технічних та соціально-економічних заходів, що забезпечують безпеку, збереження здоров'я та працездатність людини в процесі праці. Організація будівельного майданчика, ділянки робіт та робочих місць повинна забезпечувати безпеку праці працюючих на всіх етапах виконання робіт.

Вирішення питань про охорону праці та здоров'я трудящих на будівельному майданчику є найважливішим завданням. При вирішенні завдань необхідно чітко представляти сутність процесів і відшукати способи (найбільш підходящі до кожного конкретного випадку), що усувають вплив на організм шкідливих і небезпечних факторів і унеможливають травматизм і професійні захворювання.

##### 4.1.1 Інженерні рішення з охорони праці

Проектом передбачені інженерні рішення з техніки безпеки будівельно-монтажних та супутніх допоміжних робіт.

При виробництві будівельно-монтажних робіт необхідно дотримуватись вимог [39]. Чинна система охорони праці (трудова законодавство, виробнича санітарія та техніка безпеки) забезпечує належні умови праці робітникам-будівельникам, підвищення культури виробництва, безпеку робіт та їх полегшення, що сприяє підвищенню продуктивності праці. Створення безпечних умов праці у будівництві тісно пов'язане з технологією та організацією виробництва. Відповідальність за безпеку робіт покладено у законодавчому порядку на технічних керівників будівель – головних інженерів та інженерів з охорони праці, виробників робіт та будівельних майстрів. Керівники будівництва зобов'язані організувати планування заходів з охорони праці та протипожежної техніки та забезпечити проведення цих заходів у встановлені терміни. Поліпшення організації

виробництва, створення на будівельному майданчику умов праці, що усувають виробничий травматизм, професійні захворювання та забезпечують нормальні санітарно-побутові умови – одне з найважливіших завдань, від успішного вирішення якого залежить подальше підвищення продуктивності праці на будовах.

До обов'язків адміністрації будівельних організацій з охорони праці входять:

- дотримання правил охорони праці, здійснення заходів з техніки безпеки та виробничої санітарії;
- розробка перспективних планів та угод колективних договорів щодо покращення та оздоровлення умов праці;
- забезпечення працюючих спецодягом, спецвзуттям, засобами індивідуального захисту;
- проведення інструктажів та навчання робочих правил техніки безпеки;
- організація пропаганди безпечних методів праці, забезпечення будівельних об'єктів плакатами, запобіжними написами тощо;
- організація навчання та щорічної перевірки знань, правил та норм охорони праці інженерно-технічного персоналу;
- проведення медичних оглядів осіб, зайнятих на роботах із підвищеною небезпекою та шкідливими умовами;
- розслідування всіх нещасних випадків та профзахворювань, що сталися на виробництві, а також їх облік та аналіз;
- ведення документації та перевірка встановленої звітності з охорони праці;
- видання наказів та розпоряджень з питань охорони праці.

Загальне керівництво робіт з техніки безпеки та виробничої санітарії, а також відповідальність за її стан покладається на керівників (начальників та головних інженерів) будівельних організацій.



## **4.2 Безпека в надзвичайних ситуаціях**

### **4.2.1 Законодавча база України**

Основу нормативно-правової бази в сфері цивільної оборони, захисту населення і території від наслідків надзвичайних ситуацій складають: Кодекс цивільного захисту України, закони «Про війська цивільної оборони», «Про аварійно-рятувальні служби»; укази Президента України «Про Концепції захисту населення і територій у випадку загрози і виникнення НС» і Положення «Про міністерство України з питань НС і в справах захисту населення від наслідків Чорнобильської катастрофи», постанови Кабінету Міністрів України про затвердження «Положення про цивільну оборону України», «Про єдину державну систему попередження і реагування на НС техногенного і природного характерів», «Положення про керування з питань НС і цивільного захисту населення обласних і міських державних адміністрацій» та інші нормативні акти.

### **4.2.2 Заходи при землетрусі**

Землетруси починаються раптово і охоплюють значні території. Руйнування будівель, зсуви і обвали крутих схилів є головними причинами людських жертв і великих матеріальних збитків при сильних землетрусах. Сейсмічними вважають райони, де зареєстровані або теоретично очікувані землетруси у 6 балів та вище. Основні вимоги до будівництва у сейсмічних районах зведено до вжиття таких заходів:

1. Вибір ділянки для будівництва.
2. Вибір конструктивного рішення (КР) та об'ємно-планувального рішення (ОПР).
3. Забезпечення високої якості будівництва.
4. Поділ будівель і споруд антисейсмічними швами.

Будівельні майданчики під населені пункти і споруди обираються з урахуванням геологічних даних, якнайдалі від можливих або явних розривних порушень, далеко від крутих схилів, що загрожують обвалами і зсувами. Несприятливими для будівництва вважають пухкі ґрунти і тріщинуваті породи. При виборі ділянки для забудови враховують такі поняття як сейсмостійкість будівельних об'єктів та сейсмічність будівельного майданчика. Сейсмостійкістю називають здатність ґрунтів, будівель і споруд протистояти сейсмічним впливам. Заходи з підвищення сейсмостійкості будівель застосовуються у районах із сейсмічністю у 7 балів і вище. Нормативне обґрунтування цих заходів здійснюється за «ДБН В.1.112:2006. Будівництво у сейсмічних районах України». За сейсмічності більше 9 балів зведення капітальних будівель заборонено.

#### **4.3 Висновки до розділу 4**

У цьому розділі було розглянуто безпеку в надзвичайних ситуаціях з фокусом на землетрусі.

Оскільки, землетруси є однією з найбільш небезпечних природних катастроф, які можуть призвести до значних матеріальних збитків та загибелі людей. Однак, певні заходи можуть бути прийняті, щоб зменшити ризик втрати життя та матеріальних збитків.

Було розглянуто заходи, які можуть бути прийняті в разі землетрусу. Вони включають в себе пошук безпечного місця, прикриття голови та шиї твердим предметом, уникнення ліфтів та швидкого виходу з будівлі.

Було розглянуто системи сейсмозахисту будівель, які можуть допомогти зменшити ризик матеріальних збитків та загибелі людей. Ці системи включають в себе ізолятори, амортизатори та інші системи, які можуть допомогти зменшити вібрації та поглинати енергію землетрусу.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Вивчення проблеми прогнозування довговічності багат шарових стін було обмежено такими рамками:

- проблема прогнозування довговічності вивчалася тільки за критерієм втрати теплопровідності;
- матеріали конструкцій вибирали на підставі аналізу, і для дослідження використовували найпоширеніші.

З урахуванням викладених обмежень було проведено літературний огляд і визначено недоліки у вивченні питання прогнозування довговічності багат шарових стін за критерієм теплозахисту:

- методика прогнозування довговічності утеплювачів за морозостійкістю не відповідає реальним експлуатаційним умовам
- немає чіткого визначення, за якою методикою варто визначати довговічність абсолютно різних за своєю структурою матеріалів.
- відсутня методика визначення довговічності багат шарових стін під час впливу фактору поперемінного заморожування-відтавання.

Для визначення реальних експлуатаційних умов було проведено натурний експеримент. Отримані дані підтверджують, що кількість циклів в осінній період перевищує розглянуту в методиці. Також наявні методики визначення довговічності утеплювачів розглядають тільки несучу здатність матеріалу, що докорінно невірно. Досягнення межі за теплозахистом матеріалу відбувається раніше, ніж досягнення межі за несучою здатністю. Однак визначення довговічності теплоізоляційних матеріалів за морозостійкістю підходить не для всіх видів утеплювачів. Органічні, а зокрема полістиролові матеріали мало схильні до накопичення вологи, а отже, вплив заморожування-відтавання чинить на них мінімальний ефект. Правильне застосування методик визначення довговічності теплоізоляційних матеріалів дасть змогу точніше визначати їхній термін служби, визначити періоди капітальних ремонтів.

**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. Gričiute, Gintare & Bliudzius, Raimondas & Norvaišienė, Rosita. (2013). The Durability Test Method for External Thermal Insulation Composite System Used in Cold and Wet Climate Countries. *Journal of Sustainable Architecture and Civil Engineering*. 1. 10.5755/j01.sace.1.2.2778.
3. Künzle M. 2010. Factors Determining Surface Moisture on External Walls. In: *Proceedings of the XI International Conference Thermal Performance of the Exterior Envelopes of Whole Buildings 2010*. 1–6.
4. Nilica R., Harmuth H. 2005. Mechanical and fracture mechanical characterization of building materials used for external thermal insulation composite systems. *Cement and Concrete Research*, 35, 1641–1645. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconres.2005.04.001>
5. Norvaišienė R., Burlingis A., Stankevičius V. 2010. Durability Tests on Painted Facade Rendering by Accelerated Ageing *Materials Science*. Vol. 16, No. 1, 80–85.
6. Norvaišienė R., Gričiutė G., Bliūdžius R., Ramanauskas J. 2011. The Changes of Moisture Absorption Properties during the Service Life of External Thermal Insulation Composite System. In: *Proceedings of the 20th International Baltic Conference Materials Engineering 2011, Kaunas Lithuania*, 13 p. ar viso 98 p
7. Norvaišienė, Rosita & GRICIUTĖ, Gintarė & Bliudzius, Raimondas. (2013). The Changes of Moisture Absorption Properties during the Service Life of External Thermal Insulation Composite System. *Materials Science*. 19. 10.5755/j01.ms.19.1.3834.
8. Stazi, Francesca & Di Perna, Costanzo & Munafò, P.. (2009). Durability of 20-year-old external insulation and assessment of various types of retrofitting to meet new energy regulations. *Energy and Buildings*. 41. 721-731. 10.1016/j.enbuild.2009.02.008.

9. Nilica, Roland & Harmuth, Harald. (2005). Mechanical and fracture mechanical characterization of building materials used for external thermal insulation composite systems. *Cement and Concrete Research*. 35. 1641-1645. 10.1016/j.cemconres.2005.04.001.
10. Sulakatko, Virgo & Vogdt, Frank. (2018). Construction Process Technical Impact Factors on Degradation of the External Thermal Insulation Composite System. *Sustainability*. 10. 3900. 10.3390/su10113900.
11. Zhou, Biao & Yoshioka, Hideki & Noguchi, Takafumi & Ando, Tatsuo. (2018). Experimental Study of Expanded Polystyrene (EPS) External Thermal Insulation Composite Systems (ETICS) Masonry Façade Reaction-to-fire Performance. *Thermal Science and Engineering Progress*. 8. 10.1016/j.tsep.2018.08.002.
12. Madrigal, L.O.; Lanzarote, B.; Bretones, J.M.F. Proposed method of estimating the service life of building envelopes. *Rev. Constr.* 2015,14, 60–68.
13. Presser, S.; Couper, M.P.; Lessler, J.T.; Martin, E.; Martin, J.; Rothgeb, J.M.; Singer, E. Methods for testing and evaluating survey questions. *Public Opin. Q.* 2004,68, 109–130
14. Barreira, E.; Delgado, J.M.P.Q.; De Freitas, V.P. Biological Defacement of External Thermal Insulation Composite Systems. *Hygrothermal Behav. Build. Pathol. Durab.* 2013,1, 113–140.
15. Pikkuvirta, J.; Annila, P.J.; Suonketo, J. New test method for wind-driven rain penetration of ETICS 1 Introduction. *Proc. Int. Conf. Ageing Mater. Struct.* 2014,1, 134–139.
16. Balayssac, J.P.; Nicot, P.; Ruot, B.; Devs, O.; Détriché, C.H. Influence of admixtures on the cracking sensitivity of mortar layers applied to a mineral substrate. *Constr. Build. Mater.* 2011,25, 2828–2836. [CrossRef]
17. Barberousse, H.; Ruot, B.; Yéprémian, C.; Boulon, G. An assessment of façade coatings against colonization by aerial algae and cyanobacteria. *Build. Environ.* 2007,42, 2555–2561. [CrossRef]
18. Barreira, E.; de Freitas, V.P. Experimental study of the hygrothermal behaviour of External Thermal Insulation Composite Systems (ETICS). *Build. Environ.*

2013,63, 31–39. [CrossRef]

19. Bochen, J. Study on the microstructure of thin-layer facade plasters of thermal insulating system during artificial weathering. *Constr. Build. Mater.* 2009,23, 2559–2566. [CrossRef]

20. ДБН В.2.6-31:2021 «Теплова ізоляція та енергоефективність будівель»

21. ІГНАТЬЄВА, В. Аналіз роботи профільних виробів, армованих волокнами композитів у конструкції. Праці конференції Міжнародної науково-технічної конференції присвяченої 70-річчю від дня народження член-кореспондента НАН України, проф. Ясенія Петра Володимировича „Міцність і довговічність сучасних матеріалів та конструкцій“, 2022, 60-61.

22. КІЯН, Д.І.; КРАМАР, Галина Михайлівна. Використання теплоізоляційних матеріалів у будівництві. Збірник тез доповідей ІХ Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій“, 2020,1: 77-77.

23. ГАВРОН, І.Я.; КРАМАР, Галина Михайлівна. Сучасні теплоізоляційні матеріали в будівництві. Збірник тез доповідей VIII Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій“, 2019, 1: 58-58.

24. КОВАЛЬЧУК, Я., et al. Теплоізоляційні будівельні матеріали з місцевих технологічних відходів. Наукові нотатки, 2019, 66: 165-171.

25. КІЦАК, І.; КОВАЛЬ, І. В. Визначальні фактори енергоефективності будівлі. Матеріали V Міжнародної студентської науково-технічної конференції "Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання", 2022, 146-146.

26. 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.

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